

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-154659

(43) 公開日 平成10年(1998) 6月9日

(51) Int.Cl.⁹

識別記号

F I

H 0 1 L 21/027

H 0 1 L 21/30

5 1 8

G 0 3 F 7/207

G 0 3 F 7/207

H

H 0 1 L 21/30

5 1 6 B

5 2 6 B

審査請求 未請求 請求項の数27 O L 外国語出願 (全120頁)

(21) 出願番号 特願平9-274812

(22) 出願日 平成9年(1997)10月7日

(31) 優先権主張番号 7 2 7 6 9 5

(32) 優先日 1996年10月7日

(33) 優先権主張国 米国 (U S)

(71) 出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72) 発明者 諏訪 恭一

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株

式会社ニコン内

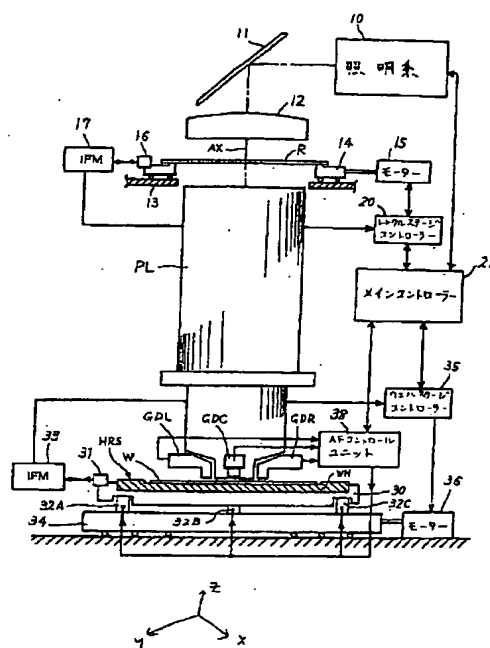
(74) 代理人 弁理士 社本 一夫 (外5名)

(54) 【発明の名称】 リソグラフィアライナー、製造装置、または検査装置用の焦点及びチルト調節システム

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 通常の投影光学系と比較してワーキングディスタンスを減少させる投影光学系が組み入れられても、高精度に焦点合わせ及びチルト制御を行う。

【解決手段】 焦点合わせ装置は、第1の位置に検出領域を備えた第1の検出系、第2の位置に検出領域を備えた第2の検出系、及び第3の位置に検出領域を備えた第3の検出系を備える。第1の位置、第2の位置、第3の位置は対物レンズ光学系の視野の外側に設けられ第1、第2の位置、第3の位置は間隔がつけられる。第1の焦点位置と目標焦点位置との間のずれを計算し第1の検出系による検出のときに、第2の焦点位置を一時的に記憶する。第1の検出系の検出領域に対応する被加工物上の領域が被加工物と対物レンズ光学系との相対移動によって対物レンズ光学系の視野に位置決めされたとき、コントローラが、計算されたずれと記憶された第2の焦点位置と第3の焦点位置とに基づいて焦点合わせを制御する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 スキャニング露光装置であって、

(a) マスクのパターンの像を結像視野で基板上に投影するための結像系と、

(b) 前記結像系に対してスキャニング方向に前記マスク及び前記基板を移動させるためのスキャニング機構と、

(c) 前記基板上に投影される像の焦点を調節するための調節系と、

(d) 第1の位置に検出領域を備えた第1の検出系とを備えており、前記第1の位置は、前記結像系の前記結像視野の外側に設けられ、前記結像視野から前記スキャニング方向に間隔をあけて設けられており、前記第1の検出系は、前記基板の表面のZ方向の位置を検出し、前記スキャニング露光装置は、また、

(e) 第2の位置に検出領域を備えた第2の検出系を備えており、前記第2の位置は、前記結像系の前記結像視野の外側に設けられ、前記第1の位置から前記スキャニング方向と交差する方向に間隔をあけて設けられており、前記第2の検出系は、前記基板の表面のZ方向の位置を検出し、前記スキャニング露光装置は、また、

(f) 第3の位置に検出領域を備えた第3の検出系を備えており、前記第3の位置は、前記結像系の前記結像視野の外側に設けられ、前記結像視野から前記スキャニング方向と交差する方向に間隔をあけて設けられており、また、前記第3の位置は、前記第2の位置から前記スキャニング方向に間隔をあけて設けられており、前記第3の検出系は、前記基板の表面のZ方向の位置を検出し、前記スキャニング露光装置は、また、

(g) 前記第1の検出系と前記第2の検出系とに連結され、前記第1の検出系によって検出された前記第1のZ位置と目標Z位置との間のずれを計算し、前記第1の検出系による検出のときに、前記第2の検出系によって検出された前記第2のZ位置を記憶する計算器と、

(h) 前記調節系と前記計算器と前記第3の検出系とに連結されたコントローラとを備えており、前記第1の検出系の前記検出領域に対応する前記基板上の前記領域が、前記スキャニング機構の移動によって前記結像系の結像視野に位置したとき、前記コントローラは、前記計算されたずれと、前記記憶された第2のZ位置と、前記第3の検出系によって検出された前記第3のZ位置と、に基づいて前記調節系を制御することを特徴とするスキャニング露光装置。

【請求項2】 請求項1に記載のスキャニング露光装置において、

前記スキャニング機構は、前記マスクを保持するためのマスクステージと、前記基板を保持するための基板ステージと、前記結像系の投影倍率に対応する速度比で、前記マスクステージと前記基板ステージとを移動させるた

めの同期駆動系とを備えていることを特徴とするスキャニング露光装置。

【請求項3】 請求項2に記載のスキャニング露光装置において、

前記基板ステージは、前記基板の裏面を引きつけるための吸引部と、前記基板が前記吸引部に支持されたとき、前記基板の表面とほぼ等しい高さで前記基板を囲む補助プレート部とを備えていることを特徴とするスキャニング露光装置。

【請求項4】 請求項3に記載のスキャニング露光装置において、

前記マスクのパターンによって露光される前記基板のショット領域が、前記基板の周辺部にあるときに、前記第2の検出系と前記第3の検出系は、前記検出領域のうち少なくとも1つの検出領域によって前記補助プレート部の表面のZ方向における位置を検出できるように配置されていることを特徴とするスキャニング露光装置。

【請求項5】 請求項4に記載のスキャニング露光装置において、

前記第1の検出系は、該第1の検出系に関する所定の基準Z位置に対する前記基板の表面のZ方向位置誤差値、及び、該第1の検出系に関する所定の基準Z位置に対する前記補助プレート部のZ方向位置誤差値の一方を発生し、

前記第2の検出系は、該第2の検出系に関する所定の基準Z位置に対する前記基板の表面のZ方向位置誤差値、及び、該第2の検出系に関する所定の基準Z位置に対する前記補助プレート部のZ方向位置誤差値の一方を発生し、

前記第3の検出系は、該第3の検出系に関する所定の基準Z位置に対する前記基板の表面のZ方向位置誤差値、及び、該第3の検出系に関する所定の基準Z位置に対する前記補助プレート部のZ方向位置誤差値の一方を発生することを特徴とするスキャニング露光装置。

【請求項6】 請求項5に記載のスキャニング露光装置において、

前記第1の検出系に関する前記所定の基準Z位置と、前記第2の検出系に関する前記所定の基準Z位置と、前記第3の検出系とに関する前記所定の基準Z位置とが、互いに異なっている場合に、

前記所定の基準Z位置の間の差異が、校正によって検出されることを特徴とするスキャニング露光装置。

【請求項7】 請求項4に記載のスキャニング露光装置において、

前記基板のスキャニング方向がY方向である場合で、また、前記Y方向及び前記Z方向の各々に直交する方向がX方向である場合に、前記第1の検出系は、複数の検出領域を有するマルチポイントタイプの第1の焦点検出器を備えており、前記複数の検出領域は、前記結像系の結像視野の前記X方向におけるサイズの範囲にわたって、

前記基板上で、前記X方向に沿って一列になっていることを特徴とするスキヤニング露光装置。

【請求項8】 請求項7に記載のスキヤニング露光装置において、

前記第2の検出系は、複数の第2の焦点検出器を備えており、前記第2焦点検出器は、前記マルチポイントタイプの第1の焦点検出器の、一列となっている前記複数の検出領域のうち前記X方向における両側に検出領域を備えており、前記第2の焦点検出器の各々は、前記検出領域の各々で、前記基板及び前記補助プレート部の一方の前記表面のZ方向位置を個々に検出することを特徴とするスキヤニング露光装置。

【請求項9】 請求項8に記載のスキヤニング露光装置において、

前記第3の検出系は、複数の第3の焦点検出器を備えており、前記第3焦点検出器は、前記投影系の前記結像視野の前記X方向における両側に設けられており、前記第3の焦点検出器の各々は、前記検出領域の各々で、前記基板及び前記補助プレート部の一方の前記表面のZ方向位置を個々に検出することを特徴とするスキヤニング露光装置。

【請求項10】 投影露光装置であって、

(a) マスクパターンの像を投影視野で基板に投影するための結像系と、

(b) X方向及びY方向に交差する方向に移動して、前記投影されたマスクパターン像に関して前記基板を位置決めするための可動ステージ機構と、

(c) 前記基板上に投影されるマスクパターン像の焦点を調節するための調節機構と、

(d) 第1の位置に検出領域を備えた第1の検出系を備えており、前記第1の位置は、前記結像系の前記投影視野の外側に設けられ、前記投影視野から前記Y方向に間隔をあけて設けられており、前記第1の検出系は、前記基板の表面のZ方向の位置を検出しており、前記投影露光装置は、また、

(e) 第2の位置に検出領域を備えた第2の検出系を備えており、前記第2の位置は、前記結像系の前記投影視野の外側に設けられ、前記第1の位置から前記X方向に間隔をあけて設けられており、前記第2の検出系は、前記基板の表面のZ方向の位置を検出しており、前記投影露光装置は、また、

(f) 第3の位置に検出領域を備えた第3の検出系を備えており、前記第3の位置は、前記結像系の前記投影視野の外側に設けられ、前記投影視野から前記X方向に間隔をあけて設けられており、また、前記第3の位置は、前記第2の位置から前記Y方向に間隔をあけて設けられており、前記第3の検出系は、前記基板の表面のZ方向の位置を検出しており、

前記投影露光装置は、また、

(g) 前記第1の検出系と前記第2の検出系とに連結さ

れ、前記第1の検出系によって検出された前記第1のZ位置と目標Z位置との間のずれを計算し、前記第1の検出系による検出のときに、前記第2の検出系によって検出された前記第2のZ位置を記憶するための計算器と、

(h) 前記調節機構と前記計算器と前記第3の検出系とに連結されたコントローラとを備えており、前記第1の検出系の前記検出領域に対応する前記基板の前記領域が、前記可動ステージ機構によって前記結像系の前記投影視野に位置するときに、前記コントローラは、前記計算されたずれと、前記記憶された第2のZ位置と、前記第3の検出系によって検出された前記第3のZ位置と、に基づいて前記調節機構を制御することを特徴とする投影露光装置。

【請求項11】 請求項10に記載の投影露光装置において、

前記第1の検出系は、複数の検出領域を有する複数の第1の焦点検出器を備えており、前記複数の検出領域は、前記結像系の投影視野の前記X方向におけるサイズに応じた範囲で、前記X方向に沿って一列になっており、前記第1の焦点検出器の各々は、前記検出領域の各々で、前記基板の表面のZ位置を個々に検出することを特徴とする投影露光装置。

【請求項12】 請求項11に記載の投影露光装置において、

前記第2の検出系は、2つの第2の焦点検出器を備えており、前記2つの第2の焦点検出器は、前記第1の検出系の、一列となっている前記複数の検出領域の両側に配置された2つの検出領域を備えており、前記第2の焦点検出器の各々は、前記2つの検出領域の各々で、前記基板の表面のZ位置を個々に検出することを特徴とする投影露光装置。

【請求項13】 請求項12に記載の投影露光装置において、

前記第3の検出系は、2つの第3の焦点検出器を備えており、前記2つの第3の焦点検出器は、前記結像系の前記投影視野の前記X方向における両側に配置されており、前記第3の焦点検出器の各々は、前記2つの検出領域の各々で、前記基板の表面のZ位置を個々に検出することを特徴とする投影露光装置。

【請求項14】 請求項13に記載の投影露光装置において、

前記可動ステージ機構は、前記基板の裏面を引きつけるための取付部と、前記基板が前記取付部に支持されたとき、前記基板の表面と実質的に等しい高さで前記基板を囲む補助プレート部とを備えており、前記補助プレート部の表面は、前記2つの第2の焦点検出器のうちの1つと、前記2つの第3の焦点検出器のうちの1つとによって検出されることを特徴とする投影露光装置。

【請求項15】 投影系を通してマスクのパターンの一部を感光性基板に投影し、前記投影系の投影視野に対し

て前記マスクと前記感光性基板とを移動させることによって、前記マスクのパターンを前記感光性基板に転写するスキニング露光方法であって、前記方法は、

(a) 前記感光性基板の表面の高さと実質的に等しい高さで前記感光性基板を囲む補助プレート部を有するホルダーに、前記感光性基板を取り付けるステップと、

(b) 前記マスクパターンの一部が投影される前記感光性基板の露光領域の焦点誤差を読み取るステップとを備えており、前記ホルダーと前記感光性基板とをスキニング移動させる間で、前記露光領域が前記投影系の投影視野に達する前に、前記露光領域の前記焦点誤差が読み取られるようになっており、

前記方法は、また、

(c) 前記感光性基板上の露光領域が前記投影視野に達するときに、前記スキニング移動方向に直交する方向に前記投影系の投影視野から離れて配置された露光位置用の焦点検出系によって、前記感光性基板及び前記補助プレート部の一方の一部の表面の焦点誤差を検出するステップと、

(d) 前記ステップ(b)及び(c)によって検出された前記焦点誤差に基づいて、前記投影系と前記感光性基板との間で焦点を調節するステップとを備えており、それによって、前記感光性基板上での露光領域の焦点誤差が、前記投影系の投影視野で補正されることを特徴とするスキニング露光方法。

【請求項16】 請求項15に記載のスキニング露光方法において、

前記方法は投影アライナーに適用されており、前記投影アライナーは投影系を有しており、前記投影系は、前記基板の表面に対して20mmまたはそれ以下の有効作動距離を備えていることを特徴とするスキニング露光方法。

【請求項17】 請求項15に記載のスキニング露光方法において、

前記方法は、液浸式の投影露光装置に適用されており、前記液浸式の投影露光装置において、前記感光性基板と、前記投影光学系の像面側に配置された透明な光学素子との間で、投影光路を含む空間が、液体で満たされていることを特徴とするスキニング露光方法。

【請求項18】 請求項17に記載のスキニング露光方法において、

前記投影光学系は、前記感光性基板と前記投影光学系の前記透明な光学素子との間の液体の厚さが2mmまたはそれ以下となるような作動距離を備えていることを特徴とするスキニング露光方法。

【請求項19】 請求項15に記載のスキニング露光方法において、

前記方法は、スキニング露光装置に適用されており、前記スキニング露光装置は、反射屈折投影系を有しており、前記反射屈折投影系は、屈折用の光学素子と反射

用の光学素子とを有しており、前記スキニング露光装置において、透明な光学素子が像面側に配置されていることを特徴とするスキニング露光方法。

【請求項20】 請求項19に記載のスキニング露光方法において、

前記像面側に配置された前記透明な光学素子は、プリズムミラーとなっており、前記プリズムミラーは、前記感光性基板の表面に実質的に平行な射出表面を備えていることを特徴とするスキニング露光方法。

【請求項21】 被加工物の表面と対物レンズ光学系との間で焦点合わせを制御できるように、前記対物レンズ光学系を有する装置に設けられた焦点合わせ装置であって、前記焦点合わせ装置は、

(a) 第1の位置に検出領域を備えた第1の検出系を備えており、前記第1の位置は、前記対物レンズ光学系の視野の外側に設けられており、前記第1の検出系は、前記被加工物の表面の前記焦点合わせ方向の位置を検出しており、

前記焦点合わせ装置は、また、

(b) 第2の位置に検出領域を備えた第2の検出系を備えており、前記第2の位置は、前記対物レンズ光学系の視野の外側に設けられ、前記第1の位置から間隔をあけて設けられており、前記第2の検出系は、前記被加工物の表面の前記焦点合わせ方向の位置を検出しており、

前記焦点合わせ装置は、また、

(c) 第3の位置に検出領域を備えた第3の検出系を備えており、前記第3の位置は、前記対物レンズ光学系の視野の外側に設けられ、前記第1の位置及び前記第2の位置の各々から間隔をあけて設けられており、前記第3の検出系は、前記被加工物の表面の前記焦点合わせ方向の位置を検出しており、

前記焦点合わせ装置は、また、

(d) 前記第1の検出系と前記第2の検出系とに連結され、前記第1の検出系によって検出された前記第1の焦点位置と目標焦点位置との間のずれを計算し、前記第1の検出系による検出のときに、前記第2の検出系によって検出された前記第2の焦点位置を記憶するための計算器と、

(e) 前記計算器と前記第3の検出系とに連結されたコントローラとを備えており、前記第1の検出系の前記検出領域に対応する前記被加工物上の前記領域が、前記被加工物と前記対物レンズ光学系との相対移動によって前記対物レンズ光学系の視野に位置決めするとき、前記コントローラは、前記計算されたずれと、前記記憶された第2の焦点位置と、前記第3の検出系によって検出された前記第3の焦点位置と、に基づいて、前記被加工物の前記表面上での前記対物レンズ光学系の焦点合わせを制御することを特徴とする焦点合わせ装置。

【請求項22】 被加工物と対物レンズ光学系の視野とがX方向とY方向に互いに対して移動するとき、前記被

加工物の表面での前記対物レンズ光学系の焦点合わせを制御する方法であって、前記方法は、

(a) 前記被加工物の表面の高さと実質的に等しい高さで前記被加工物を囲む補助プレート部を有するホルダーに前記被加工物を取り付けるステップと、

(b) 前記ホルダーと前記被加工物とを所定の移動方向に移動させる間で、前記被加工物の所定の局所的な部分が前記対物レンズ光学系の視野に達する前に、前記被加工物の表面の前記局所的な部分の焦点誤差を読み取るステップとを備えており、

前記方法は、また、

(c) 前記被加工物の前記局所的な部分が前記視野に達するときに、前記移動方向に直交する方向に前記対物レンズ光学系の視野から離れて配置された第1の焦点検出系によって、前記被加工物及び前記補助プレート部の一方の一部の表面の焦点誤差を検出するステップと、

(d) 前記ステップ(b)及び(c)によって検出された前記焦点誤差に基づいて、前記対物レンズ光学系と前記被加工物との間で焦点合わせを制御し、それによって、前記被加工物の局所的な部分の焦点誤差が、前記対物レンズ光学系の視野で補正されることを特徴とする方法。

【請求項23】 請求項22に記載の方法において、前記方法は、斜入射光タイプの焦点検出器の検出ビームが前記対物レンズ光学系の真下で前記被加工物の表面に斜めに導かれなようにわずかな有効作動距離を有する、製造用の計測器、リソグラフィー露光装置、描画装置、及び検査装置の少なくとも1つに適用されることを特徴とする方法。

【請求項24】 光学的な結像系と、該光学的な結像系と感光性基板との間の空間にある液体とを通して、マスクパターン像を感光性基板に投影するための投影露光装置であって、前記投影露光装置は、前記結像系の複数の光学素子を保持するアセンブリを備えており、前記アセンブリの少なくとも一端部が前記液体に浸されており、

前記投影露光装置は、また、

前記アセンブリの前記端部に取り付けられ、前記基板に対向し前記液体に接触する末端表面を有する末端光学素子を備えており、

前記末端光学素子の前記末端表面と、前記アセンブリの前記端部の表面とが、互いに対して実質的に同一平面となっており、それによって、前記液体の流れの妨害を阻止することを特徴とする投影露光装置。

【請求項25】 投影系を採用し、半導体ウェハに成型部を加工する方法であって、

(a) 前記半導体ウェハをホルダーに取り付けるステップを備えており、前記ホルダーは、周辺部に垂直に設けられた壁部を備えており、これにより、前記ウェハの表面と前記投影系との間が液浸状態となるように前記ウェ

ハ上に液体層を形成することができ、

前記方法は、また、

(b) 前記投影系の像面に沿って前記ホルダーをスキャンし、これにより、前記投影系と前記液体層とを通して前記ウェハに成型部パターン像を投影することによってスキャン露光を行うスキャンステップと、

(c) 焦点検出系を使用することによって、前記ウェハの表面と前記投影系の像面との間の焦点誤差及びチルト誤差のうちの少なくとも一方を前記スキャンステップの間に補正するステップとを備えており、前記焦点検出系は、前記投影系の像面の外側に配置された複数の焦点検出ポイントを備えていることを特徴とする方法。

【請求項26】 請求項25に記載の方法において、前記投影系は、0.5マイクロメートルよりも小さい解像度を備えていることを特徴とする方法。

【請求項27】 マスクのパターンを結像系を通して基板に転写するためのスキャン露光方法であって、前記スキャン露光方法は、

第1の検出領域を備えた第1の検出系を提供するステップを備えており、前記第1の検出領域は、前記結像系の結像視野の外側に設けられていると共に、前記結像視野からスキャン方向に間隔をあけて設けられており、前記第1の検出系は、前記基板の表面の、前記結像系の光軸方向における位置を検出しており、

前記スキャン露光方法は、また、

第2の検出領域を備えた第2の検出系を提供するステップを備えており、前記第2の検出領域は、前記結像系の結像視野の外側に設けられていると共に、前記第1の検出領域から前記スキャン方向と交差する方向に間隔をあけて設けられており、前記第2の検出系は、前記基板の表面の前記光軸方向における位置を検出しており、前記スキャン露光方法は、また、

第3の検出領域を備えた第3の検出系を提供するステップを備えており、前記第3の検出領域は、前記結像系の結像視野の外側に設けられていると共に、前記結像視野から前記スキャン方向と交差する方向に間隔をあけて設けられ、さらに、前記第2の検出領域から前記スキャン方向に間隔をあけて設けられており、前記第3の検出系は、前記基板の表面の位置と目標位置との間の、前記光軸方向におけるずれを検出しており、

前記スキャン露光方法は、また、

前記基板の露光の間に、前記第1の検出系の検出結果と前記第2の検出系の検出結果とに基づいて、前記第3の検出系の目標位置を決定するステップと、

前記基板の露光の間に、前記第1の検出系の検出結果と前記第2の検出系の検出結果と前記第3の検出系の検出結果とに基づいて、前記基板の表面と前記結像系の像面との間の位置関係を調節するステップとを備えていることを特徴とするスキャン露光方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本願発明は、半導体の製造に関し、特に、回路パターンを、マスクまたはレチクルから感光基板に転写するためのリソグラフィ―露光装置（アライナー）に関する。

【0002】本願発明は、また、被加工物、すなわちワークピース（ウェハ、基板、またはプレートなど）上の焦点を検出するための、また、前記被加工物のチルト（すなわち、傾斜）を検出するためのシステム（系）に関する。当該システムは、レーザーや電子ビームを使用して、被加工物を製造または被加工物の表面に所望のパターンを結像するための装置や被加工物の表面の状態を光学的に検査するための装置のようなある種類の装置に適用できる。

【0003】

【従来の技術】近年、集積密度64メガビットを有するダイナミック・ランダム・アクセス・メモリの半導体チップ（DRAMs）が、半導体製造技術によって大量生産されている。そのような半導体チップは、半導体ウェハを露光して回路パターンを結像し、これによって、例えば、10層あるいはそれ以上の層の回路パターンを重ね合わせ形成することによって、製造されている。

【0004】一方、現在、そのようなチップの製造に使用されるリソグラフィ―装置は、投影用のアライナーである。その投影用のアライナーにおいては、レチクル（または、マスクプレート）上のクロム層に描かれた回路パターンが、水銀灯のi線（波長365nm）やKrFエキシマーレーザーからの248nmの波長を有するパルス光で、前記レチクルを照射することによって、4分の1または5分の1に縮小する縮小光学結像系（すなわち、縮小投影光学系）を通して、ウェハ表面のレジスト層に転写される。

【0005】この目的のために使用される投影露光装置（投影用のアライナー）は、結像光学系のタイプに応じて、ステップアンドリピート方式を利用するもの（すなわち、いわゆるステッパー）と、最近注目を受けているステップアンドスキャン方式を利用したもの（概ねグループ分けされている）。

【0006】ステップアンドリピート方式においては、工程が繰り返される。すなわち、その工程においては、ウェハがステップング方法である程度移動するごとに、レチクルのパターン像が、縮小投影レンズ系または単一の倍率の投影レンズ系を使用することによって、ウェハの一部に投影される。前記縮小投影レンズ系は、屈折用の光学材料（レンズ素子）のみから形成されており、円形の像視野を備えている。単一の倍率の投影レンズ系は、屈折用の光学材料（レンズ素子）、プリズムミラー、及び凹面鏡から形成されており、非円形の像視野を備えている。前記像視野によって、ウェハやプレートのショット領域がパターン像に露出される。

【0007】ステップアンドスキャン方式においては、ウェハは、（例えば、円弧状のスリットの形状の）レチクルの回路パターンの一部の像に露光される。レチクルの回路パターンの一部の像は、投影光学系を通してウェハに投影される。同時に、レチクルとウェハは、連続的に、一定の速度で且つ投影倍率に応じた速度比で移動する。したがって、スキャン方式では、ウェハ上の1つのショット領域が、レチクル上の全回路パターン像に露光される。

【0008】例えば、「オブティカル／レーザー・マイクロリソグラフィ（Optical/Laser Microlithography）（1988）のSPIE Vol. 922の256ページないし269ページに記述されているように、ステップアンドスキャン方式は、ウェハ上の1つのショット領域がスキャンされ露光された後、ウェハは1ステップ移動し、隣のショット領域が露光されるように構成され、また、投影光学系の有効像視野が円弧状のスリットに制限されるように構成されている。また、投影光学系は、（Shafferに付与された）米国特許第4,747,678に開示されているもののように、複数の屈折用の光学要素と、複数の反射用の光学要素との組み合わせとを考慮することができる。

【0009】（Nishiに付与された）米国特許は、アライナーの一例を開示している。このアライナーにおいては、ステップアンドスキャン方式が、円形の像視野を有するステッパー用の縮小投影レンズを取り付けることによって、実行されている。この米国公報は、また、スキャン露光のときに投影されるパターン像が、所定量だけウェハ上の焦点深度（DOF）を増加させることによって、ウェハに転写される方法を開示している。

【0010】リソグラフィ―技術の分野においては、光りによる露光により、1ギガまたは4ギガ程度の集積密度及び精度を有する半導体メモリチップを製造できることが望ましい。光りにより露光する技術は長い技術的歴史を有しており、大量に蓄積されたノウハウに基づいていることから、光りにより露光する技術を継続して使用することが便利である。また、他の代替の電子ビームによる露光技術やX線技術の問題点を考慮すると、光りにより露光する技術を使用することが効果的である。

【0011】1ギガのメモリチップに関しては、最小のライン幅（形状幅）を、約0.18 μ m（マイクロメートル）にする必要があると考えられている。一方、4ギガのメモリチップに関しては、最小のライン幅（形状幅）を、約0.13 μ m（マイクロメートル）にする必要があると考えられている。そのようなライン幅を達成するためには、200nmあるいはそれより短い波長を有する遠紫外線、例えば、ArFエキシマーレーザーによって生じる遠紫外線が使用され、これにより、レチクルパターンを照射することができる。

【0012】（400nmまたはそれより短い波長を有

する) 遠紫外線に対して適当な透過度を有するガラス質の光学材料として、石英 (SiO_2)、蛍石 (CaF_2)、リチウムフルオリド (LiF)、マグネシウムフルオリド (MgF_2) などが、一般的に知られている。石英と蛍石は、遠紫外線のレンジにおいて高い解像度を有する投影光学系を形成するために必要なガラス質の光学材料となっている。

【0013】しかしながら、もし、視野のサイズを増加させながら、投影光学系の開口数 (NA) を増加させて高解像度を達成するならば、石英または蛍石で形成されたレンズ素子の直径が大きくなり、その結果、そのようなレンズ素子の製造が困難になるという事実を考慮することが必要である。

【0014】また、もし、投影光学系の開口数 (NA) を増加させるならば、焦点深度 (DOF) ΔF は、必然的に減少する。レイリーの結像の理論が適用されるならば、一般的に、焦点深度 ΔF は、下記に示されているように、波長、開口数 NA、及びプロセス係数 K_f ($0 < K_f < 1$) によって定義される。

$$\Delta F = K_f \cdot (\lambda / \text{NA}^2)$$

したがって、もし、波長が 193 nm ならば、すなわち、波長が ArF エキシマーレーザー光の波長に等しく、開口数 NA が約 0.75 に設定され、プロセス係数 K_f が 0.7 であるならば、大気 (空気) 中の焦点深度 ΔF は、約 $0.240 \mu\text{m}$ となる。この場合、理論上の解像度 (最小ライン幅) ΔR は、プロセス係数 K_r ($0 < K_r < 1$) を使用する下記等式によって表現される。

$$\Delta R = K_r \cdot (\lambda / \text{NA})$$

したがって、上述した状態の下では、プロセス係数 K_r が 0.6 ならば、解像度 ΔR は約 $0.154 \mu\text{m}$ となる。

【0017】上述したように、解像度を改善するために、投影光学系の開口数を増加させる必要がある一方で、もし、開口数が増加するならば、焦点深度が急激に減少することに注意することが重要である。もし、焦点深度が小さいならば、精度、再現精度、及び安定性を改善する必要がある。精度、再現精度、及び安定性に基づいて、投影光学系の最良の像面とウェハ上のレジスト層面との間を合わせるための自動焦点合わせ系が、制御される。

【0018】他方、デザインや製造の見地から投影光学系を考慮すると、視野のサイズを増加させることなしに、開口数を増加させる構成が可能である。しかしながら、もし、開口数を実質的に大きな値に設定するならば、レンズ素子の直径が大きくなり、その結果、ガラス質の光学材料 (例えば、石英や蛍石) を形成し加工することが困難となる。

【0019】次いで、投影光学系の開口数を大きく増加させることなしに解像度を改善するための手段として、液浸投影方法を使用してもよい。この方法においては、

ウェハと投影光学系との間のスペースに、液体が充填されている。これに関しては、(Tabarelli に付与された) 米国特許第 $4,346,164$ を参照されたい。

【0020】この液浸投影方法においては、ウェハと、投影光学系を投影端側 (像面側) で構成する光学要素との間の空間に、フォトリソ層の屈折率に近い屈折率を有する液体が充填されている。これにより、ウェハ側からみた投影光学系の有効開口数が増加し、すなわち、解像度を改善することができる。この液浸投影方法は、使用する液体を選択することによって、良好な結像性能を獲得できると期待されている。

【0021】現在公知な投影アライナーには、一般的に、自動焦点合わせ (AF) 系が設けられている。この自動焦点合わせ系は、ウェハと投影光学系との相対位置を正確に制御し、それによって、ウェハの表面を、投影光学系の最適な像面 (レチクルの共役面) に合致させることができる。この自動焦点合わせ系は、ウェハ表面の高さ方向の位置 (Z 方向位置) の変化を非接触で検出するための表面位置検出センサと、この検出された変化に基づいて、投影光学系とウェハとの間の間隔を調節するための Z 方向調節機構とを備えている。

【0022】また、現在使用されている投影アライナーにおいては、また、光学タイプのセンサや空気マイクロメータータイプのセンサが、表面位置検出センサとして使用されている。また、ウェハを支持するためのホルダー (及び Z ステージ) が、Z 方向調節機構として設けられている。ウェハを支持するホルダー (及び Z ステージ) は、サブミクロン精度で垂直方向に移動する。

【0023】もし、そのような自動焦点合わせ系が、液浸投影方法が適用されるアライナーに設けられるならば、ウェハが液体に保持されることから、空気マイクロメータータイプのセンサを使用することができず、光学式のセンサが独占的に使用されるのが自然である。そのような場合、例えば、(Suwa に付与された) 米国特許第 $4,650,983$ に開示されたような焦点合わせ用の光学式センサが構成される。それによって、測定用のビーム (スリット像の結像ビーム) が、ウェハ上の投影視野に斜めに投影され、また、ウェハ表面で反射された測定用のビームが、受光用のスリットを通して、光電式の検出器によって受光される。ウェハ表面の高さの変化、すなわち、焦点誤差量が、受光用のスリットで起きる反射されたビーム (反射ビーム) の位置の変化から検出される。

【0024】米国特許第 $4,650,983$ に開示されたような斜入射光 (斜めに光を入射する) タイプの焦点合わせ用のセンサが、 10 ないし 20 nm の作動距離を有する通常の投影光学系が液体に浸されている投影アライナーに直接的に取り付けられているならば、下記に述べる問題が生じる。そのような場合、下記のような投

影ビームと反射ビームとが通る投影光学系を液体に設定する必要がある。すなわち、その投影ビームは、焦点合わせ用のセンサの投影用対物レンズから放射されて、ウェハ上にある投影光学系の投影視野に到達する。その反射ビームは、ウェハによって反射されて、受光用の対物レンズに到達する。

【0025】そのため、焦点合わせ用のセンサのビームは、液体中を長い距離にわたって進む。それによって、液体の温度分布が高精度に安定していないならば、投影ビームや受光されたビームは、温度が不均等になっているので、屈折率の変化によって変動し、その結果、焦点検出（すなわち、ウェハ表面の高さ方向の位置の検出）の精度が低下することとなる。

【0026】さらに、液浸投影方法によって、0.15 μ mまたはそれ以下の解像度を達成するために、上述したように、投影光学系の作動距離を十分に小さい値に設定する必要がある。そのため、斜入射光（斜めに光りを入射する）タイプの焦点合わせ用のセンサの投影ビームそれ自身を、投影光学系とウェハとの間の空間からウェハ上の投影領域に向けて斜めに投影することは、困難となる、この理由のため、液浸投影方法に適用可能な自動焦点合わせ系をどのように構成したらよいかということに関して、1つの重要な疑問が生じる。

【0027】他方、単一の倍率タイプの（以下、“1X”と言う）投影光学系を有するアライナー（露光装置）は、半導体装置を製造する分野と共に、液晶ディスプレイ装置（平坦なパネルディスプレイ）を製造する分野で使用されている。最近、この種のアライナーのために、1つのシステム（系）が提案されている。そのシステムには、あるタイプの複数の1X投影光学系が配置され、そして、マスク及び感光性のプレートが互いに対して一体的に移動してスキャニングを行うことができるようになっている。使用される1X投影光学系の作動距離は、理想的には極端に小さくなっていることが望ましい。各1X投影光学系は、（Herschelに付与された）米国特許第4,391,494号に開示されたようなシングル・ダイソン（single Dyson）タイプ、または、（Swansonなどに付与された）米国特許第5,298,939に開示されたようなダブル・ダイソン（double Dyson）タイプとなっている。

【0028】そのようなDyson（ダイソン）タイプの投影光学系を有するアライナーにおいては、作動距離（すなわち、プリズムミラーの出口表面と像面との間の間隔）を十分に減少させることにより、投影された像の種々の収差やディストーションを小さな値に制限でき、その結果、収差やディストーションにより生じる問題が事実上なくなる。そのため、この種のアライナーにおいて、焦点合わせ用のセンサによって焦点が検出される、感光性の基板上の検出領域（例えば、光りを斜めに入射

する斜入射光系における投影ビームの照射位置、または、空気マイクロメーター系における空気排出位置）は、通常、投影光学系の有効投影視野領域からそれた位置に設定される。すなわち、オフアクシス方式で設定される。

【0029】

【発明が解決しようとする課題】この理由のため、回路パターンからの投影光に露光される基板の領域が最良の焦点位置または状態に正確に調節されたかどうかを実際に検出することは不可能である。

【0030】また、基板にパターンを描画する装置においては、または、レーザービームや電子ビームのスポットを使用することによって加工（または製造）を行う装置においては、基板と、レーザービームや電子ビームを投影するための対物レンズ系（または、電子レンズ系）と、の間の作動距離が大変小さくなる。その結果、加工位置の焦点誤差を検出でき、または、対物レンズ光学系の視野における基板表面上での描画位置の焦点誤差を検出できるAFセンサを取り付けることができなくなる可能性が生じる。

【0031】そのような場合、AFセンサの検出位置は、焦点誤差を検出するために、対物レンズ系の視野の外側にのみ置かれる。そのため、対物レンズ系の視野における加工位置または描画位置で、焦点誤差が実際に起きているかどうか検出できなくなる。

【0032】これと同じことが、フォトリソグラフィーでレチクルやマスクに描かれたパターンやウェハに形成された微細のパターンを光学的に検査するための装置に関しても言うことができる。すなわち、この種の検査装置にも、検査のための対物レンズ系が設けられているからである。また、対物レンズ系の端部は、検査される標本（プレート）の表面に向いて、所定の作動距離だけ前記標本の表面から離れて設けられているからである。

【0033】したがって、比較的に大きな倍率と高解像度とを有する対物レンズ系を使用するならば、作動距離が大変小さくなり、その結果、AFセンサの性質に関する同じ問題が生じる。

【0034】

【課題を解決するための手段】関連技術の上記問題を考慮して、本願発明は、通常の投影光学系と比較して作動距離を減少させる投影光学系が組み入れられたとしても、高精度に焦点合わせの制御ができ、また、高精度にチルト制御ができる、投影アライナー（露光装置）及び露光方法を提供するものである。

【0035】本願発明は、ステップアンドリピート式のアライナーに関連している。ステップアンドリピート式のアライナーにおいては、感光性基板の表面が、投影系またはスキャニング露光装置（スキャニングアライナー）を通して投影されたパターン像に露光される。投影系またはスキャニング露光装置において、マスク（また

は、レチクル）と感光性基板とは、パターン像が投影されながら結像系に対して相対的に移動し、また、これらの種類の露光装置（アライナー）における焦点位置やチルトを検出するのに適切な系に対して相対的に移動する。

【0036】本願発明の露光装置及び露光方法においては、焦点合わせ制御やチルト制御は、感光性基板上の周辺位置におけるショット領域に関して実行される。

【0037】本願発明のスキニング露光装置及びスキニング露光方法によって、焦点検出領域を投影光学系の投影視野に設定することなしに、感光性基板の露光領域に関して、高精度に焦点合わせの制御ができ、また、高精度にチルト制御ができる。

【0038】本願発明の焦点合わせ用のセンサ及び焦点検出方法は、焦点深度を改善するために設計された液浸タイプの投影アライナーや液浸タイプのスキニングアライナーにおいて、液体に浸された感光性基板の表面の焦点合わせまたはチルトにおける誤差を安定して検出できる。本願発明の焦点合わせ用のセンサ及び焦点検出方法は、小さな作動距離の対物レンズ光学系を有する、製造（加工）装置、描画装置、または検査装置に適している。

【0039】本願発明は、マスク（レチクル）のパターン像を結像視野を通して基板（ウェハ）に投影するための結像系（投影レンズ系）と、結像系に対してスキニング方向にマスク及び基板を移動させるためのスキニング機構（レチクルステージまたはウェハXYステージ）と、基板及び結像系を互いに対してZ方向に駆動して投影される像の焦点を合わせるZ駆動系とを有するスキニング露光装置に適用可能である。本願発明は、また、マスクのパターン像を投影視野を通して基板に投影するための結像系と、投影されるパターン像に関して基板を位置決めするために、X方向及びY方向に移動する移動可能なステージ機構と、基板及び結像系を互いに対してZ方向に駆動して投影される像の焦点を合わせるZ駆動系とを有する投影アライナー（すなわち、ステッパー）に適用可能である。

【0040】露光装置すなわちアライナーのスキニング機構または移動可能なステージは、マスクまたは基板を水平方向に維持するための機構とすることができる。あるいは、露光装置すなわちアライナーのスキニング機構または移動可能なステージは、マスクまたは基板を水平面から、ある一定の角度に維持するための機構としてもよい。例えば、マスクまたは基板を垂直な姿勢で維持しながら、マスクまたは基板を水平または垂直方向に移動させるための垂直（縦置き）ステージ機構としてもよい。この場合、マスクまたは基板が移動する平面は、X方向とY方向に対向している。X方向及びY方向の各々に対して直交しているZ方向も、参照される（例えば、Z方向は、横方向に配置された投影光学系の光軸の

方向、または、主光線方向に一致している）。

【0041】本願発明によれば、アライナーには、第1の検出系と、第2の検出系と、第3の検出系とが設けられている。第1の検出系は、第1の位置に、検出領域を備えている。第1の位置は、結像系の結像視野の外側に設けられ、スキニング方向（Y方向）において前記結像系の結像視野から間隔をあけて設けられている。第1の検出系は、基板の表面（上面）のZ方向における位置を検出する。第2の検出系は、第2の位置に、検出領域を備えている。第2の位置は、結像系の結像視野の外側に設けられ、スキニング方向（Y方向）に直交する方向（X）において前記第1の位置から間隔をあけて設けられている。第2の検出系は、基板の表面のZ方向における位置を検出する。第3の検出系は、第3の位置に、検出領域を備えている。第3の位置は、結像系の結像視野の外側に設けられ、スキニング方向（Y方向）と直交する方向（X方向）において前記結像系の結像視野から間隔をあけて設けられている。第3の位置は、また、スキニング方向（Y方向）において前記第2の位置からも間隔をあけて設けられている。第3の検出系は、基板の表面のZ方向における位置を検出する。

【0042】本願発明によれば、アライナーには、さらに、第1の検出系によって検出された第1のZ位置と目標Z位置との間のずれを計算し、第1の検出系によって検出される時に、第2の検出系によって検出された第2のZ位置を一時的に記憶するための計算器と；スキニング機構または移動可能なステージ機構により引き起こされた移動によって、第1の検出系の検出領域に対応する基板上の領域が、結像系の結像視野に位置決めされたとき、計算されたずれと、記憶された第2のZ位置と、第3の検出系によって検出された第3のZ位置とに基づいて、Z駆動系を制御するためのコントローラとが；設けられている。

【0043】本願発明は、スキニング露光方法に適用可能である。このスキニング露光方法においては、投影光学系を通してマスクパターンの一部を感光性基板に投影することによって、また、投影光学系の投影視野に対してマスクと感光性基板とを同時に移動させることによって、マスク（レチクル）のパターンの全てが、感光性基板（ウェハ）に転写される。

【0044】本願発明の方法は、感光性基板の表面高さと実質的に等しい高さで感光性基板を囲むように形成された補助プレート部を有するホルダーに感光性基板を取り付けるためのステップと、感光性基板上の露光領域の焦点誤差を事前に読み取るステップとを備えている。マスクのパターンの一部が前記感光性基板上の領域に投影されるようになっている。ホルダーと感光性基板とをスキニング移動している間で、露光領域が投影光学系の投影視野に到達する前に、露光領域の焦点誤差が読み取られる。前記本願発明の方法は、さらに、感光性基板上

の露光領域が投影視野に到達したときに、スキヤニング移動の方向（Y方向）に対して直交する方向（X方向）において投影光学系の投影視野から離れて配置された露光位置焦点検出系によって、感光性基板または補助プレート部の一部の表面の焦点誤差を検出するステップと、感光性基板上の露光領域の焦点誤差が、投影光学系の投影視野において補正されるように、検出された焦点誤差に基づいて、投影光学系と感光性基板との間の距離を調節するステップとを備えている。

【0045】製造（加工）装置、結像装置、及び検査装置用に適した焦点検出センサまたは焦点検出方法が、上述した露光装置（アライナー）または露光方法のための使用される投影光学系の代わりに、製造、描画、結像、または検査のための対物レンズ光学系を使用することによって、同様に達成される。

【0046】

【発明の実施の形態】図1は、本願発明の第1の実施例における投影露光装置の全体構造を示している。第1の実施例の投影露光装置は、レンズ・スキヤンタイプの投影アライナーである。その投影アライナーにおいては、レチクル上の回路パターンが、縮小投影レンズ系を通して、半導体ウェハに投影される。前記縮小投影レンズ系は、物体側でテレセントリック系に形成された円形の像視野と、像側でテレセントリック系に形成された円形の像視野とを有している。一方、レチクルとウェハは、投影レンズ系に対して移動して、スキヤン（走査）されるようになっている。

【0047】図1に示された照明系は、193nmの波長を有するパルス光を発するためのArFエキシマレーザー光源と、前記光源から発するパルス光の断面を所定の形状に形成するためのビームエキスパンダーと、所定の形状に形成された前記パルス光を受けることによって2次光源像（1セットの複数の点光源）を形成するためのフライアイレンズのような光学的インテグレータと、前記2次光源像からの前記パルス光を、一様な照度分布を有するパルス照明光に集光するための集光レンズ系と、スキヤニング露光のときのスキヤニング方向に対して直交する方向に細長い長方形にパルス照明光を整形するためのレチクルブラインド（照明視野絞り）と、図1に示されたミラー11と集光レンズ系12と協働して、レチクルブラインドの長方形の開口部をレチクルRに結像するためのリレー光学系とを備えている。

【0048】レチクルRは、真空吸引力によって、レチクルステージ14で支持されている。レチクルステージ14は、スキヤニング露光の間、大きなストロークで1次元的に、一定速度で移動することができる。レチクルステージ14は、図1で見て横方向に、アライナー本体の柱状構造体13上で案内されて移動し、スキヤニング（走査）できるようになっている。レチクルステージ14は、また、図1の平面に対して直交する方向に移動で

きるように案内される。

【0049】XY平面におけるレチクルステージ14の、座標位置と微妙な回転ずれは、レーザー干渉計システム（IFM）17によって、連続的に測定される。レーザー干渉計システム17は、レチクルステージ14の一部に取り付けられた移動鏡（平面鏡またはコーナージョイント）16にレーザービームを射出する。レーザー干渉計システム17は、移動鏡16によって反射されたレーザービームを受ける（すなわち、受光する）。レチクルステージコントローラー20は、レーザー干渉計システム17によって測定されたXY座標位置に基づいてレチクルステージ14を駆動する（リニアモーターまたはボイスコイルのような）モーター15を制御する。それによって、レチクルステージ14のスキヤニング移動とステッピング移動が制御される。

【0050】レチクルRの回路パターン領域の一部が、集光レンズ系12から発せられた長方形に形成されたパルス光で照らされるとき、その照らされた部分の回路パターンから出る結像光ビームが、1/4（すなわち、4分の1）縮小投影レンズ系PLを通して、ウェハWの上面（すなわち、主要面）に塗布された感光性レジスト層に投影され、そして、結像する。1/4縮小投影レンズ系PLの光軸AXは、円形の像視野の中心点を通して伸長するように、また、照明系10の光軸と集光レンズ系12の光軸とに同軸になるように位置決めされている。

【0051】1/4縮小投影レンズ系PLは、複数のレンズ素子を備えている。レンズ素子は、例えば、193nmの波長を有する紫外線に対して、高い透過率を有する石英や蛍石のような2つの異なった材料から構成されている。蛍石は、正力（positive power）を有するレンズ素子を形成するために、主に使用される。1/4縮小投影レンズ系PLのレンズ素子が固定された鏡筒の空気は、窒素ガスに置き換えられている。これによって、酸素による、193nmの波長を有するパルス照明光の吸収を避けることができる。照明系10の内側から集光レンズ系12にかけての光路に関しても、同様に窒素ガスに置き換えられている。

【0052】ウェハWは、ウェハホルダー（チャック）WHに保持されている。ウェハホルダーWHは、真空吸引によって、ウェハの裏面（後側面）を引き付けている。環状の補助プレート部HRSが、ウェハWの周囲を囲むように、ウェハホルダーWHの周辺部に設けられている。環状の補助プレート部HRSの表面の高さは、ウェハホルダーWHの上面に取り付けられたウェハホルダーWHの上面と実質的に同一平面となっている。下記で詳細に説明するように、ウェハW上の周辺位置にあるショット領域を走査露光するときに、もし、焦点合わせ用のセンサの検出ポイント（すなわち、検出点）が、ウェハWの輪郭エッジの外側に位置決めされているならば、環状の補助プレート部HRSは、代わりの焦点検出面と

して使用される。

【0053】さらに、環状の補助プレート部HRSは、(Suwaに付与された)上記米国特許第4,650,983に開示されているように、焦点合わせ用のセンサの系オフセットを校正するための平坦な基準プレート(参照プレート)として機能する。言うまでもなく、特別の基準プレートを別に設けて、焦点合わせ用のセンサを校正するようにしてもよい。

【0054】ウェハホルダーWHは、ZLステージ30に取り付けられている。ZLステージ30は、1/4縮小投影レンズ系PLの光軸AXに沿ってZ方向に並進運動できる。また、ZLステージ30は、XY平面に対してチルト運動している間、光軸AXに対して直交する方向にも移動できる。ZLステージ30は、3つのZ-アクチュエータ32A、32B、及び32Cを介して、XYステージ34に取り付けられている。XYステージ34は、ベース上で、X方向及びY方向に2次元に移動可能となっている。Z-アクチュエータ32A、32B、及び32Cの各々は、例えば、ピエゾ伸縮素子、ボイスコイルモーター、または、DCモーターとリフト・カム機構の組み合わせとなっている。

【0055】もし、Z-アクチュエータ32A、32B、及び32C(すなわち、Z-駆動モーター)の各々がZ方向に同じ量だけ駆動されたならば、ZLステージ30は、XYステージ34との間が平行に維持されながら、Z方向(すなわち、焦点合わせを行う方向)に並進運動する。もし、Z-アクチュエータ32A、32B、及び32Cの各々が、Z方向に異なる量だけ駆動されたならば、それによって、ZLステージ30のチルト(傾斜)量とチルト方向が、調節される。

【0056】XYステージ34の2次元移動は、いくつかの駆動モーター36によって引き起こされる。駆動モーター36は、例えば、送りねじを回転させるDCモーター(すなわち、直流電動機)や非接触状態で駆動力を生成することができるリニアモーターなどとなっている。駆動モーター36は、ウェハステージコントローラー35によって制御されている。ウェハステージコントローラー35には、移動鏡31の反射面のX方向及びY方向における位置の変化を測定できるように、レーザー干渉計(IFM)33からの測定座標位置が供給される。

【0057】例えば、駆動モーター36としてリニアモーターを使用するXYステージ34の全体構造は、1986年9月18日に公開された特開昭第61-209831(立石電気株式会社)に開示されているようなものにすることができる。

【0058】この実施例に関して、1/4縮小投影レンズ系PLのワークディスタンス(作動距離)は、非常に小さくなっており、そのため、斜入射光のタイプの焦点合わせ用のセンサの投影ビームは、像面に最も近い1/

4縮小投影レンズ系PLの光学素子の表面とウェハWの上面との間のスペースを通して、ウェハの表面に導くことができないと考えられる。この実施例においては、そのため、オフアクシスタイプ(1/4縮小投影レンズ系PLの投影視野の外側に焦点検出ポイントを備えている)の3つの焦点検出系GDL、GDC、及びGDRが、1/4縮小投影レンズ系PLのバレル(鏡筒)の下方端部周辺に配置されている。

【0059】これらの焦点検出系のうち、焦点検出系GDLとGDRは、スキャニング露光のときのウェハWのスキャニング移動の方向に対して、投影視野の前側及び後ろ側に位置決めされた焦点検出ポイント(焦点検出点)を備えるように設定されている。ウェハWの1つのショット領域がスキャンされ露光されたとき、スキャニング移動の方向(プラス方向またはマイナス方向)にしたがって選択された焦点検出系GDL及びGDRの一方が作動して、長方形の投影像が、ウェハに露光される前に、ショット領域の表面の高さ位置における変化を先読みされる。

【0060】したがって、焦点検出系GDL及びGDRは、例えば、(サカキバラなどに付与された)米国特許第5,448,332に開示された焦点検出系の先読みセンサと同じように機能する。しかしながら、この実施例においては、米国特許第5,448,332の焦点調節(あるいはチルト調節)のシーケンスとは異なったシーケンスを使用しており、そのため、特別な焦点検出系が焦点検出系GDL及びGDRに加えられている。この構造は、下記により詳細に説明されている。

【0061】図1に示された焦点検出系GDCは、ウェハWの表面(すなわち、XY平面)で見たときに、1/4縮小投影レンズ系PLの投影視野のスキャニング方向に対して直交する非スキャニング方向にオフアクシス方式で配置された検出ポイント(検出点)を備えている。しかしながら、焦点検出系GDCは、図1で見て、1/4縮小投影レンズ系PLの前側の検出ポイントに加えて、1/4縮小投影レンズ系PLの後ろ側に他の検出ポイントを備えている。

【0062】本願発明にしたがった焦点検出方法は、オフアクシス焦点検出系GDCと、先読み焦点検出系GDL及びGDRの一方とが、互いに協働して作動するようになっているという点に特徴がある。これらの焦点検出系の詳細な説明は、後述する。

【0063】上述した焦点検出系GDL、GDR、及びGDCの各々によって検出されたウェハ表面の一部の高さ位置に関する情報(例えば、最良の焦点位置からのずれ量を表す誤差信号など)が、自動焦点合わせ(AF)コントロールユニット38に入力される。AFコントロールユニット38は、焦点検出系GDL、GDR、及びGDCから供給された検出情報に基づいて、Z-アクチュエータとしてのZ-駆動モーター32A、32B、及

び32Cの各々を駆動する最適な量を決定し、Z-駆動モーター32A、32B、及び32Cを駆動して、投影像が実際に結像するウェハWの領域に対して、焦点合わせを行うと共に、チルト調節を行う。

【0064】この制御のために、焦点検出系GDL及びGDRの各々は、マルチポイント（多点）焦点合わせ用のセンサとなっている。このセンサは、1/4縮小投影レンズ系PLによって形成されるウェハW上の長方形投影領域における複数位置（例えば、少なくとも2つの位置）に検出ポイントを有している。AFコントロールユニット38は、焦点合わせはもちろん、少なくとも非スキャニング方向（X方向）においてウェハWをチルト調節できるようにしている。

【0065】図1に示されたアライナーは、一定速度でY方向にXYステージ34を移動することによって、スキャニング露光を行うように構成されている。スキャニング露光の間の、レチクルR及びウェハWのスキャニング移動とレチクルR及びウェハWのステッピング移動との関係を、図2を参照して説明する。

【0066】図2を参照すると、前方グループレンズ系LGaと後方グループレンズ系LGbが、図1に示された1/4縮小投影レンズ系PLを表している。射出瞳Epが、前方グループレンズ系LGaと後方グループレンズ系LGbとの間に存在している。回路パターン領域Paは、図2に示されたレチクルR上で、遮蔽帯SBによって画定されたフレーム（枠）に形成されている。回路パターン領域Paは、1/4縮小投影レンズ系PLの物体側上に形成される円形の像視野の直径よりも大きい対角線長さを有している。

【0067】スキャニング方式で、レチクルRの回路パターン領域Paの像が、ウェハW上の対応するショット領域SAaに露光される。このスキャニング方式は、例えば、レチクルRを一定の速度VrでY軸に沿ったマイナス方向に移動する一方、ウェハWを一定速度VwでY軸に沿ったプラス方向に移動することによって行われる。このとき、レチクルRを照明するためのパルス照明光IAの形状は、図2に示すように、レチクルRの回路パターン領域PaにおいてX方向に細長い平行ストリップまたは長方形に設定されている。X方向において互いに対向している、パルス照明光IAの形状の両端は、遮蔽帯SBに位置決めされている。

【0068】パルス照明光IAで照射される、レチクルRの回路パターン領域Paの長方形領域に含まれている部分的パターンは、1/4縮小投影レンズ系PL（前方グループレンズ系LGa及び後方グループレンズ系LGb）によって、ウェハWのショット領域SAaでの対応位置に、像SIとして結像する。レチクルR上の回路パターン領域PaとウェハW上のショット領域SAaとの間での相対的なスキャニングが完了したとき、例えば、ウェハWは、Y方向に一定の距離だけ1ステップ移動す

る。それによって、スキャニングの開始位置は、ショット領域SAaに隣接するショット領域SAbに対して設定される。このステッピング動作の間、パルス照明光IAによる照明は、停止している。

【0069】次に、スキャニング方式で、レチクルRの回路パターン領域Paの回路パターン像を、ウェハW上のショット領域SAbに露光するために、レチクルRは、パルス照明光IAに対してY軸のプラス方向に一定速度Vrで移動する。そして、ウェハWは、同時に、投影された像SIに対してY軸のマイナス方向に一定速度Vwで移動する。速度比Vw/Vrは、1/4縮小投影レンズ系PLの縮小比1/4に設定されている。上記スケジュールにしたがって、レチクルRの回路パターン領域Paの像が、ウェハW上の複数のショット領域に露光される。

【0070】図1及び図2に示された投影アライナーは、次のような方法で、ステップアンドリピート方式のアライナーとして使用できる。すなわち、もし、レチクルR上の回路パターン領域Paの対角線長さが、1/4縮小投影レンズ系PLの回路像視野の直径よりも小さいならば、照明系10におけるレチクルブラインドの開口部の形状およびサイズが変化し、それによって、パルス照明光IAの形状が回路パターン領域Paに一致するようになっている。そのような場合、レチクルステージ14とXYステージ34とは、ウェハW上のショット領域の各々を露光する間、相対的に静止した状態に維持される。

【0071】しかしながら、もし、ウェハWが露光の間にわずかに移動するならば、ウェハWのわずかな移動は、レーザー干渉計システム33によって測定することができる。また、レチクルステージ14を制御下でわずかに移動して、その結果、レチクルR側で追従補正することにより、1/4縮小投影レンズ系PLに対するウェハWの位置の対応する小さな誤差を打ち消すことができる。例えば、そのような追従補正のためのシステムは、特開平6-204115号と特開平7-220998号に開示されている。これらの公開公報に開示された技術は、必要に応じて使用することができる。

【0072】もし、レチクルブラインドの開口部の形状やサイズが変化するならば、ズームレンズ系を設けることにより、光源からレチクルブラインドに到達するパルス照明光IAを、開口部の形状やサイズの変化に応じて、調節された開口部に整合する範囲内に集めることができる。

【0073】図2に明瞭に示されているように、投影された像SIの領域は、X方向に細長いストリップ形状または長方形形状に設定されることから、スキャニング露光の間のチルト調節は、Y軸を中心として回転する方向、すなわち、この実施例におけるスキャニング露光方向に対するローリング方向に沿ってのみ行うことができ

る。言うまでもなく、もし、投影された像S I領域の、スキャニング方向における幅が、スキャニング方向に対してウェハ表面の平面度の影響を考慮する必要がある程度に大きいならば、スキャニング露光の間に、ピッチング方向におけるチルト調節が行われる。この作動は、本願発明の他の実施例に関してより詳細に説明する。

【0074】図1に示された焦点検出系GDL、GDR、及びGDCは、例えば、図3に図示されたように配置されている。図3は、1/4縮小投影レンズ系PLの像側で円形の像視野CPが形成される平面上での焦点検出系の検出ポイントの配置を示している斜視図である。図3は、焦点検出系GDL及びGDCの配置のみ示している。焦点検出系GDRは省略されている。というのは、焦点検出系GDRは、焦点検出系GDLと同じ構造だからである。

【0075】図3を参照すると、焦点検出系GDCは、2つの検出器GDC1及びGDC2を備えている。検出器GDC1及びGDC2は、検出ポイント（検出領域）FC1及びFC2が、ストリップ状で長方形の投影された像S Iの軸線から伸長する延長線LLc上に位置決めされるように設定されている。ストリップ状で長方形の投影された像S Iは、1/4縮小投影レンズ系PLの円形の像視野CPで、直径方向（X方向）に伸長している。これらの検出器GDC1及びGDC2は、ウェハW（または、補助プレート部HRS）の上面の高さ位置や最良の焦点平面位置に対するZ方向の位置誤差量を検出する。

【0076】一方、焦点検出系GDLは、本実施例において、5つの検出器GDA1、GDA2、GDB1、GDB2、及びGDB3を備えている。検出器GDA1、GDA2、GDB1、GDB2、及びGDB3は、それぞれ、検出ポイント（検出領域）FA1、FA2、FB1、FB2、及びFB3を備えている。検出ポイントFA1、FA2、FB1、FB2、及びFB3は、延長線LLcに平行な直線LLaに位置決めされている。これらの5つの検出器GDA1、GDA2、GDB1、GDB2、及びGDB3の各々は、独立して、ウェハW（または、補助プレート部HRS）の上面におけるポイントの高さ位置や最良の焦点平面位置に対するZ方向の位置誤差量を検出する。

【0077】延長線LLcや直線LLaは、スキャニング方向（Y方向）に互いに一定距離をおいて設定されている。また、検出器GDA1の検出ポイントFA1と、検出器GDC1の検出ポイントFC1とは、X方向において、実質的に同じ座標位置に設定されている。一方、検出器GDA2の検出ポイントFA2と、検出器GDC2の検出ポイントFC2とは、X方向において、実質的に同じ座標位置に設定されている。

【0078】3つの検出器GDB1、GDB2、及びGDB3の検出ポイントFB1、FB2、及びFB3は、

ストリップ状のまたは長方形の投影された像S Iの領域をX方向において覆うように配置されている。すなわち、検出ポイントFB2は、投影された像S Iの領域のX方向における中心（光軸AXが通るポイント）に対応するX座標位置に配置されている。一方、検出ポイントFB1及びFB3は、投影された像S IのX方向における両端付近の位置に対応するX座標位置に配置されている。そのため、3つの検出ポイントFB1、FB2、及びFB3を使用して、投影された像S I領域に対応するウェハWの表面部での焦点誤差を先読みできるようになっている。

【0079】図3に図示されていない焦点検出系GDRにも、3つの先読み検出器GDE1、GDE2、及びGDE3と他の2つの検出器GDD1及びGDD2とを備えている。検出器GDD1及びGDD2は、先読み検出器GDE1、GDE2、及びGDE3のX方向の両側に配置されている。説明を簡単にするために、この実施例においては、12個の検出器GDA1、GDA2；GDB1、GDB2、GDB3；GDC1、GDC2；GDD1、GDD2；GDE1、GDE2、GDE3によって複数の最良の焦点位置として認められる複数の平面は、1つのXY平面に調節されるものと仮定する。すなわち、システム上のオフセットが12個の検出器の間にはない。また、検出された焦点誤差がゼロになる位置として、12個の検出ポイントFA1、FA2；FB1、FB2、FB3；FC1、FC2；FD1、FD2；FE1、FE2、FE3で検出されたウェハWの表面高さ位置は、互いに対してほぼ接近しているものと仮定する。

【0080】1/4縮小投影レンズ系PLの端が液体に浸されていないならば、上述した12個の焦点検出器として、光学センサ、空気マイクロメータタイプのセンサ、静電容量タイプのギャップ（間隙）センサなどを使用できる。しかしながら、もし、液浸式の投影系が形成されているならば、もちろん、空気マイクロメータタイプのセンサを使用することはできない。

【0081】図4は、図1及び図3に示された焦点検出系GDL、GDR、及びGDCからの検出信号（誤差信号）を処理するためのAFコントロールユニット38の一例のブロック線図である。図4に示されているように、先読み焦点検出系GDLの5つの検出器GDA1、GDA2、GDB1、GDB2、及びGDB3からの検出信号のグループと、焦点検出系GDRの5つの検出器GDD1、GDD2、GDE1、GDE2、及びGDE3からの検出信号のグループのうちの一方のグループが、切換え回路50によって選択されて、その後の処理回路に供給される。

【0082】切換え回路50は、位置監視回路（位置モニター回路）52から供給される（方向の区別の結果を表す）切換え信号SS1に応答して、焦点検出系GDL及びGDRのうちの一方からの信号を選択する。位置監視

視回路52は、ウェハステージコントローラ35からのステージ制御情報に基づいて、ウェハステージ34のスキニング移動方向の一方の移動方向を他方の移動方向から区別する。また、位置監視回路52は、先読み位置から露光位置まで、ウェハWの移動した位置の変化を監視している。図4に示された状態においては、切換え回路50は、焦点検出系GDLからの5つの検出信号を選択している。

【0083】露光領域（投影された像SI）に関する先読み検出器GDB1、GDB2、及びGDB3からの検出信号は、焦点誤差量とチルト誤差量とを計算するための第1の計算器54に供給される。第1の計算器54は、第2の計算及び記憶回路56に、3つの検出ポイントFB1、FB2、及びFB3で事前に読取られたウェハWの表面領域の焦点誤差量 ΔZ_f とチルト誤差量 ΔT_x （Y軸を中心とした微妙な傾き）に関する誤差データDT1、DT2とを供給する。

【0084】一方、検出器GDA1及びGDA2は、第2の計算及び記憶回路56に、情報ZA1と情報ZA2とを供給する。情報ZA1は、検出ポイントFA1における表面の高さ位置（すなわち、焦点ずれ）を表している。情報ZA2は、検出ポイントFA2における表面の高さ位置（すなわち、焦点ずれ）を表している。情報ZA1及び情報ZA2の検出は、3つの検出器GDB1、GDB2、及びGDB3によるウェハ表面の検出と同時に行われている。

【0085】誤差データDT1及びDT2と、情報ZA1及びZA2と、検出器の間の相対位置関係とに基づいて、第2の計算及び記憶回路56は、Y方向（スキニング方向）に関して投影露光位置に設定された検出器GDC1及びGDC2の検出ポイントFC1及びFC2で検出されるべきウェハWの高さ位置の目標値 ΔZ_1 及び ΔZ_2 を計算する。第2の計算及び記憶回路56は、一時的に、計算された目標値 ΔZ_1 及び ΔZ_2 を記憶する。

【0086】目標値 ΔZ_1 及び ΔZ_2 の意味は、次の通りである。すなわち、先読み検出ポイントFA1及びFA2で事前に読み取られたウェハW（または、環状の補助プレート部HRS）の表面部が、対応する露光位置での検出ポイントFC1及びFC2に到達するときに、検出器GDC1及びGDC2によって検出された情報ZC1と情報ZC2が、目標値 ΔZ_1 及び ΔZ_2 にそれぞれ等しいならば、先読みによって決定される焦点誤差量 ΔZ_f とチルト誤差量 ΔT_x は、露光位置でゼロになる。

【0087】さらに、先読みされたウェハ上のY方向に関する領域が、投影像SIが露光される露光位置に到達する直前に、第2の計算及び記憶回路56は、記憶された目標値 ΔZ_1 及び ΔZ_2 を第3の計算及び駆動回路58に出力する。

【0088】したがって、位置監視回路52から出力さ

れた信号SS2に同期して、第2の計算及び記憶回路56は、一時的に記憶された目標値 ΔZ_1 及び ΔZ_2 を表す信号を第3の計算及び駆動回路58に出力する。目標値 ΔZ_1 及び ΔZ_2 を表す前記信号は、Y方向における直線LLaと延長線LLcとの間の距離と、ウェハWの移動速度と、によって決定される時間だけ遅延させられた後に、第3の計算及び駆動回路58に出力される。

【0089】スキニング方向における、投影像SIの幅に対応する距離だけ、ウェハWが移動してスキャンされる毎に、信号SS2が出力されるならば、図3に示された、直線LLaと延長線LLcとの間のY方向における距離（例えば、約40mm）を、投影像SIの幅（約8mm）で除算することによって得られた数に対応する一定の数の組（例えば、5組）の目標値 ΔZ_1 及び ΔZ_2 が、第2の計算及び記憶回路56に記憶される。したがって、第2の計算及び記憶回路56は、先入れ先出し（FIFO）方法で目標値 ΔZ_1 及び ΔZ_2 を記憶するメモリとして機能する。

【0090】第3の計算及び駆動回路58は、位置監視回路52からの信号SS3に回答して、検出器GDC1及びGDC2によって検出されたウェハW（または、環状の補助プレート部HRS）の表面の高さ位置に関する検出情報ZC1及びZC2を読み取る。その直後に、先読み位置で検出されたウェハW上の領域が、露光位置（投影された像SIの位置）に到達する。

【0091】同時に、第3の計算及び駆動回路58は、第2の計算及び記憶回路56から出力された（露光位置に対応する）目標値 ΔZ_1 及び ΔZ_2 のデータを読み取る。そして、第3の計算及び駆動回路58は、検出情報ZC1及びZC2と目標値 ΔZ_1 及び ΔZ_2 とに基づいて、図1に示されたZ-駆動モーター32A、32B、及び32Cに対応する駆動量（位置調節の量や速度調節の量）を、計算によって決定する。次いで、第3の計算及び駆動回路58は、その決定された駆動量のデータをZ-駆動モーター32A、32B、及び32Cに出力する。

【0092】図4のほとんどの構成要素は、図4の観点から当業者によって書くことができる適切なプログラムを実行するプログラムされたマイクロコントローラやマイクロプロセッサで具体化される。

【0093】図5は、図1に示されたようなウェハホルダーの周辺部に形成された環状の補助プレート部HRSの機能を説明する平面図である。この実施例において、焦点検出系の全ての検出ポイントは、上述したような1/4縮小投影レンズ系PLの投影視野CPの外側に位置決めされていることから、ウェハW上の複数のショット領域SAnのうち該ウェハWの周辺部に配置されたいくつかのショット領域をスキニング露光するときに、いくつかの焦点検出ポイントが、ウェハWの周辺の外側に置かれる可能性がある。

【0094】例えば、図5に示されているように、ブライメントされた（事前にブライメントされた）切欠きNTを使用してウェハホルダーWH上に位置決めされたウェハWの周辺のショット領域SA1が、走査露光されるとき、先読み焦点検出系GDL（またはGDR）の、端にある焦点検出ポイントFA1（またはFD1）と、露光位置の焦点検出系GDCの検出ポイントFC1とは、ウェハWの外側に置かれる。この場合、焦点合わせ及びチルト調節を行うことは、通常は困難である。

【0095】環状の補助プレート部HRSの主な機能は、そのような場合に、通常の焦点合わせとチルト運動を可能にすることである。図5に示されているように、ウェハWの外側に置かれた検出ポイントFA1（またはFD1）と検出ポイントFC1は、環状の補助プレート部HRSの表面に位置決めされるように設定されている。したがって、環状の補助プレート部HRSの表面の高さは、ウェハWの表面の高さに実質的に等しいことが望ましい。

【0096】より具体的に説明すると、ウェハWの表面と環状の補助プレート部HRSの表面とは、検出ポイントFA1（FA2）、FC1（FC2）、及びFD1（FD2）に対応する検出範囲内で、互いに対し同一平面上にある。その検出範囲において、検出ポイントに対応する焦点検出器の所望の線形性が、確保されている。さらに、環状の補助プレート部HRSの表面がウェハWの表面の代わりとして使用されていることから、その補助プレート部HRSの反射率は、標準の（シリコン）ウェハの反射率と同じ程度かあるいは同じ値となっている。例えば、環状の補助プレート部HRSとしては、鏡面仕上げされた表面が好ましい。

【0097】（ウェハホルダーWH上の）ウェハWが、図5に示された矢印の方向に移動してスキャンされたならば、焦点検出系GDLの検出ポイントFA1、FA2；FB1、FB2、FB3は、ショット領域SA1に関する先読みセンサとして選択される。この場合、投影像SIのY方向におけるに中心に対応する延長線LLcと、焦点検出系GDLの検出ポイントが配置される直線LLaとの間の距離を、DLaとし、また、延長線LLcと、他方の焦点検出系GDRの検出ポイントが配置される直線LLbとの間の距離を、DLbとすれば、この実施例においては、DLaとDLbは、DLaがDLbにほぼ等しくなるように設定される。スキャン露光のときのウェハWの速度Vwから、ウェハW上の焦点先読み位置が露光位置に到達するのにかかる遅延時間 Δt は、 $\Delta t = DLa / Vw$ （秒）となっている。したがって、図4に示された第2の計算及び記憶回路56において、目標値 $\Delta Z1$ 及び $\Delta Z2$ を一時的に記憶するための時間は、タイムラグ（時間遅れ） Δt と実質的に等しくなっている。

【0098】しかしながら、距離DLaと距離DLb

は、アライナーの構造に係る制約に応じて、DLaがDLbに等しくならないように選択するようにしてもよい。言うまでもなく、そのような場合において、目標値 $\Delta Z1$ 及び $\Delta Z2$ の供給の遅延時間は、先読み焦点検出系GDLの使用と先読み焦点検出系GDRの使用とに関して、異なる長さに設定されている。

【0099】上述したように構成された第1の実施例の焦点合わせとチルト運動の作用を、図6Aないし図6Dを参照して説明する。図6Aは、図5に示されたようなウェハWの周辺ショット領域SA1をスキャン露光している間のある瞬間に先読み焦点検出系GDLによって検出された環状の補助プレート部HRSの上側表面の状態及びウェハWの上側表面の状態を図式的に示している。

【0100】図6Aないし図6Dにおいて、水平ラインBFPは、1/4縮小投影レンズ系PLの最適な焦点面を示している。ショット領域SA1において検出ポイントFB1でウェハ表面のZ方向における位置を検出する検出器GDB1は、平面BFPに対するウェハ表面のZ位置誤差量（焦点はずれの量、すなわちデフォーカス量）として $\Delta ZB1$ を表す検出信号を出力する。同様に、検出ポイントFB2及びFB3でウェハ表面のZ方向における位置の誤差を検出する検出器GDB2及びGDB3は、誤差 $\Delta ZB2$ 及び $\Delta ZB3$ を表す検出信号を出力する。ウェハ表面が最適な焦点面BFPよりも下にあるならば、これらZ位置誤差の各々は、負の値を有している。また、ウェハ表面が最適な焦点面BFPよりも上にあるならば、Z位置誤差の各々は、正の値を有している。

【0101】これらの誤差 $\Delta ZB1$ 、 $\Delta ZB2$ 、及び $\Delta ZB3$ の値は、図4に示された第1の計算及び記憶回路54に入力される。第1の計算及び記憶回路54は、これらの誤差値に基づいて最小2乗法などにより、ショット領域SA1における先読みされた部分全体の、図6Bに示された近似面APP（実際は、近似直線）を表す数式のパラメータを決定する。それによって決定されたパラメータは、図6Bに示されたように、近似面APPの焦点誤差量 ΔZf とチルト誤差量 ΔTx である。このようにして計算された焦点誤差量 ΔZf とチルト誤差量 ΔTx の値は、データDT1及びデータDT2として、第2の計算及び記憶回路56に出力される。この実施例において、焦点誤差量 ΔZf は、ショット領域SA1のX方向における（検出ポイントFB2に対応する）中央ポイントでの実質的な誤差として計算される。

【0102】検出器GDB1、GDB2、及びGDB3が、上述したようにZ位置誤差を検出したとき、検出器GDA1及びGDA2は、検出ポイントFA1及びFA2での最適な焦点面に対する、ウェハ表面または環状の補助プレート部HRSの表面のZ位置誤差 $\Delta ZA1$ 及び $\Delta ZA2$ を同時に検出する。これらの誤差 $\Delta ZA1$ 及び

$\Delta Z A 2$ は、第2の計算及び記憶回路56に一時的に記憶される。

【0103】この検出及び記憶の直後、図6Bに示されたような近似面APPが、図6Cに示されたような最適な焦点面BFPに一致するように補正されるとすると、すなわち、ウェハホルダーWHが、焦点誤差量 $\Delta Z f = 0$ となるように、また、チルト誤差量 $\Delta T x = 0$ となるように、Z方向及びチルト運動方向に調節されるとすると、第2の計算及び記憶回路56は、データDT1及びDT2（誤差量 $\Delta Z f$ 及び $\Delta T x$ ）と、検出ポイントFA1及びFA2で実際に測定されたZ位置誤差 $\Delta Z A 1$ 、 $\Delta Z A 2$ と、ショット領域の中央ポイントと検出ポイントFA1及びFA2の各々との間のX方向における距離DSとに基づいて、検出ポイントFA1で検出されるべきZ位置目標値 $\Delta Z 1$ と、検出ポイントFA2で検出されるべきZ位置目標値 $\Delta Z 2$ とを計算する。ウェハW上の先読みされた領域が、投影像SI（露光位置）の領域に到達するまで、計算されたZ位置目標値 $\Delta Z 1$ 及び $\Delta Z 2$ は、一時的に第2の計算及び記憶回路56に記憶される。

【0104】ウェハW上の先読みされた領域が露光位置に到達したとき、図4に示された第3の計算及び駆動回路58が、検出ポイントFC1及びFC2でのZ位置誤差を検出するために、検出器GDC1及びGDC2からの検出信号を読み取る。例えば、ウェハW上の先読みされた領域が、露光位置に到達する直前に図6Dに示されたような状態にあるならば、検出器GDC1は、検出ポイントFC1でのZ位置誤差を表す検出信号ZC1を出力する。一方、検出器GDC2は、検出ポイントFC2でのZ位置誤差を表す検出信号ZC2を出力する。

【0105】次いで、第3の計算及び駆動回路58は、検出器GDC1及びGDC2から供給される検出信号ZC1及びZC2の値が、それぞれ、遅延して第2の計算及び記憶回路56から供給されるZ位置目標値 $\Delta Z 1$ 及び $\Delta Z 2$ に等しくなるように、ウェハホルダーWHをZ方向においてチルト及び／または並進運動させるために必要な、3つのZ-アクチュエータ32A、32B、及び32C用の駆動量を計算する。第3の計算及び駆動回路58は、前記計算された駆動量に対応する信号を、Z-アクチュエータ32A、32B、及び32Cに供給する。

【0106】ウェハWの上面のショット領域SA1は、それによって、露光位置で、最適な焦点面BFPに一致するように正確に調節される。その結果、最適の結像状態に維持されるべきレチクルRのパターンの投影像SIが、ショット領域のスキヤニングモードで露光される。

【0107】第1の実施例におけるこの作動の間に、先読み焦点検出系GDLにおける各検出器と、露光位置焦点検出系GDCにおける各検出器とは、ウェハWの表面または環状の補助プレート部HRSの表面が、最適な焦

点面BFPに一致したとき、焦点誤差がないということを示す検出信号出力するように設定（較正）される。しかしながら、検出器をそのような状態に厳密に設定することは困難である。特に、先読み焦点検出系GDL（GDR）における検出器GDA1及びGDA2（GDD1及びGDD2）と、露光位置焦点検出器GDC1及びGDC2との間の検出オフセットが、露光のためにウェハWに形成されたパターン像に一樣に焦点はずれをおこさせる。

【0108】そのため、検出器GDC1がゼロの焦点誤差を検出するZ方向における高さ位置と、検出器GDA1（GDD1）がゼロの焦点誤差を検出するZ方向における高さ位置との間のオフセット値を、ウェハホルダーWHに設けられた反射ガラスプレート（すなわち、基準プレート）のきわめて平坦度の高い表面上でこれらの検出器により、焦点検出を同時に行うことによって、測定し記憶するようにしてもよい。この表面は、構造HRSまたは構造HRSとは別体の他の構造とすることができる。その結果、Z-アクチュエータ32A、32B、及び32Cが、露光位置焦点検出器GDC1及びGDC2によって検出されたZ位置誤差に基づいて駆動されるとき、記憶されたオフセット値により補正を行うことができる。

【0109】本願発明の第2の実施例に係わる焦点及びチルトセンサの構造を、次に、図7及び図8を参照して説明する。第2の実施例に関しては、1/4縮小投影レンズ系PLの円形の視野に含まれる投影像SIが、Y方向（スキヤニング方向）において比較的に大きな最大幅を備えており、それによって、ウェハWの表面のY方向へのチルトの影響、すなわち、ピッチング（縦揺れ）の影響を考慮に入れるべき必要があるという状況が想定されている。

【0110】露光位置焦点検出器GDC1（図示せず）が設けられており、図7に示されているように、露光位置焦点検出器GDC1は、2つの検出ポイントFC1a及びFC1bを備えている。検出ポイントFC1a及びFC1bは、投影像SIより上でY方向において延長線LLcを中心として対称に配置されている。そして、もう一つの露光位置焦点検出器GDC2（図示せず）が、設けられている。露光位置焦点検出器GDC2は、2つの検出ポイントFC2a及びFC2bを備えている。検出ポイントFC2a及びFC2bは、投影像SIより下でY方向において延長線LLcを中心として対称に配置されている。さらに、先読み焦点検出器GDA1と先読み焦点検出器GDA2（図示せず）とが設けられている。先読み焦点検出器GDA1は、2つの検出ポイントFA1a及びFA1bを備えている。検出ポイントFA1a及びFA1bは、Y方向において直線LLaを中心として対称に配置されている。先読み焦点検出器GDA2は、2つの検出ポイントFA2a及びFA2bを備え

ている。検出ポイントFA2a及びFA2bは、Y方向において直線LLaを中心として対称に配置されている。同様に、先読み焦点検出器GDD1（図示せず）と先読み焦点検出器GDD2（図示せず）とが設けられている。先読み焦点検出器GDD1は、2つの検出ポイントFD1a及びFD1bを備えている。検出ポイントFD1a及びFD1bは、Y方向において直線LLbを中心として対称に配置されている。先読み焦点検出器GDD2は、2つの検出ポイントFD2a及びFD2bを備えている。検出ポイントFD2a及びFD2bは、Y方向において直線LLbを中心として対称に配置されている。

【0111】先読み焦点検出器GDBn（n=1, 2, 3）（図示せず）と、先読み焦点検出器GDEn（n=1, 2, 3）（図示せず）とが、また、設けられている。先読み焦点検出器GDBnは、複数対の検出ポイントFB1a、FB1b；FB2a、FB2b；FB3a、FB3bを備えている。先読み焦点検出器GDEnは、複数対の検出ポイントFE1a、FE1b；FE2a、FE2b；FE3a、FE3bを備えている。各対の検出ポイントは、Y方向において互いから離れて一定の間隔をあけて設けられている。

【0112】図7に示された焦点検出系は、上述した第1の実施例と同様な方法で、オフアクシス検出器GDC1及びGDC2の検出ポイントにおいて、先読みされた各ショット領域の表面形状（すなわち、誤差量 ΔZ_f と ΔT_x ）を補正するために必要な調節量（すなわち、目標値 ΔZ_1 及び ΔZ_2 ）を再生する。それによって、露光領域の、Z方向における焦点調節とX方向（ローリング方向、すなわち横揺れ方向）におけるチルト調節とが可能となっている。

【0113】この実施例において、先読み焦点検出系GDL（GDR）と露光位置焦点検出系GDCとは、Y方向において一定距離だけ間隔をあけて設けられた複数対の検出ポイント（FAaとFAnb；FBnaとFBnb；FCnaとFCnb；FDnaとFDnb；FEaとFEnb）を備えていることから、ピッチング方向における先読みされたショット領域のチルト誤差量 ΔT_y は、Y方向において複数対を形成する検出ポイント（... na、... nb）でのZ位置誤差の間の差分から検出でき、また、チルト誤差量 ΔT_y を含むショット領域の表面形状を補正するのに必要な調節量（すなわち、目標値 ΔZA_1 、 ΔZA_2 ）は、オフアクシス検出器GDC1及びGDC2の検出ポイント（FCna及びFCnb）で再生できる。

【0114】図3に示された検出ポイントFB1、FB2、及びFB3で焦点位置を検出するための検出器GDB1、GDB2、及びGDB3は、1/4縮小投影レンズ系PLの下方部に固定することによって、互いに独立した系として配置されている。しかしながら、少なくと

もこれら3つの検出器GDB1、GDB2、及びGDB3は、共通の対物レンズ系を通して、検出ポイントFB1、FB2、及びFB3で焦点位置を検出するように構成することができる。図5に示された検出ポイントFB1、FB2、及びFB3で焦点位置を検出するための3つの検出器GDE1、GDE2、及びGDE3のグループに関しても同じことが言える。

【0115】さらに、図7に示された6つの検出ポイントFBna及びFBnb（n=1, 2, 3）で焦点位置を検出する6つの検出器のグループに関して、または、6つの検出ポイントFEna及びFEnb（n=1, 2, 3）で焦点位置を検出する6つの検出器の他のグループに関して、同じ目的のために共通の対物レンズ系を使用してもよい。そのために、複数の検出ポイントで焦点位置を検出する検出器用の共通の対物レンズ系を使用する構成を、図8を参照して簡単に説明する。

【0116】図8は、図7でY方向で見た、投影レンズと検出器との間の位置的な関係の略側面図である。検出器は、図7に示された、6つの検出ポイントFBna及びFBnb（n=1, 2, 3）と、4つの検出ポイントFA1a、FA1b、FA2a及びFA2bとに対応している。したがって、図8におけるウェハWのスキニング方向は、当該図8の平面に対して直交する方向である。図7のいちばん左の位置でX方向において一列に配置された5つの検出ポイントFA1a、FBna（n=1, 2, 3）、及びFA2aが、図8に代表して示されている。もう1つの列の検出ポイントFA1b、FBnb（n=1, 2, 3）、及びFA2bは、（図8の紙面に対して直交する方向において）5つの検出ポイントFA1a、FBna（n=1, 2, 3）、及びFA2aに隣接している。この実施例において、これら10個の検出ポイントでの焦点位置が、対物レンズ系によって検出される。

【0117】図8に示されているように、光源（例えば、発光ダイオード、レーザーダイオード、ハロゲンランプなど）を含む照明光学系80Aからの照明光ILFが、マルチスリットプレート81Aに形成された10個の小スリットの各々を通して発せられる。前記光源は、ウェハW上のレジスト層が感光しない波長領域の光を発することができる。10個の小スリットは、ウェハWに設定された10個の検出ポイントFBna、FBnb（n=1, 2, 3）、FA1a、FA1b、FA2a、及びFA2bに対応して配置されている。小スリットの透過光は、レンズ系82Aと反射鏡83Aとを通過して、投影系の対物レンズ84Aに入射する。そして、所望の角度だけプリズム85Aによって偏向させられ、各検出ポイントにスリット像が形成される。

【0118】照明光学系80A、マルチスリットプレート81A、レンズ系82A、反射鏡83A、対物レンズ84A、及びプリズム85Aは、斜入射光タイプの焦点

検出ユニットの投影系を構成している。図8に示された、マルチスリットプレート81AからウェハWにわたる光路の実線は、小スリットから伝達された光りの主光線を表しており、光路における点線は、検出ポイントFB2a（またはFB2b）で結像される小スリット結像光の典型的な結像光線SLfを表している。

【0119】ウェハW上の各検出ポイントで反射された小スリット結像光の反射光は、プリズム85B、対物レンズ84B、反射鏡83B、及びレンズ系82Bを通して、受光スリットプレート81Bで再び結像される。プリズム85B、対物レンズ84B、反射鏡83B、及びレンズ系82Bは、前記投影系に対して概ね対称に配置されている。投影マルチスリットプレート81Aに設けられた前記小スリットに対応して配置された10個の受光用の小スリットが、受光スリットプレート81Bに形成されている。これらの受光用の小スリットを伝達した光りは、受光装置80Bによって受光される。受光装置80Bは、複数の光電検出素子となっている。

【0120】受光装置80Bの複数の光電検出素子として、10個の光電検出素子が、ウェハ上の検出ポイントでの焦点位置を個々に検出できるように、受光スリットプレート81Bの小スリットの位置に対応して設けられている。受光装置80B、受光スリットプレート81B、レンズ系82B、反射鏡83B、対物レンズ84B、及びプリズム85Bは、斜入射光タイプの焦点検出ユニットの受光系を構成している。図8に示されたウェハWから受光スリットプレート81Bに向かう光路の実線は、ウェハWによって通常的に反射された小スリットの主光線を表している。光路における点線は、検出ポイントFB2a（またはFB2b）から受光スリットプレート81Bに向かう典型的な結像光線RSfを表している。

【0121】図8に示された投影系と受光系は、一体的に形成された金属製の部材に取り付けられている。それによって、構成要素の位置は、互いに対して正確に維持されている。金属製の部材は、1/4縮小投影レンズ系PLのレンズバレル（鏡筒）に動かないように固定されている。同じ方法で構成されたもう一つの焦点検出ユニットは、1/4縮小投影レンズ系PLの反対側に配置されており、図7に示された10個の検出ポイントFEna、FEnb（n=1, 2, 3）、FD1a、FD2a、FD1b、及びFD2bで、焦点位置を個々に検出できるようになっている。

【0122】図7に示された前記一对の検出ポイントFC1a及びFC1bと、前記一对の検出ポイントFC2a及びFC2bとに関して、図7のY方向（図8の紙面に対して直交する方向）に配置された投影系と受光系の各々を有する斜入射光タイプの焦点検出ユニットは、1/4縮小投影レンズ系PLのX方向における両側に設けるようにしてもよい。焦点検出ポイントが図5に示され

たように配置された場合にも、図8に示された斜入射光タイプの焦点検出ユニットを、同じように適用することができる。

【0123】次に、本願発明の自動焦点合わせ／チルトコントロール系が適用されるスキニングアライナーを、図9を参照して本願発明の第3の実施例にしたがって説明する。この実施例は、大きな基板、例えば、直径300mmあるいはそれ以上の直径を有する基板用のスキニングアライナーに適用可能である。前記スキニングアライナーは、1X（すなわち1倍の）投影光学系を備えている。前記1Xの投影光学系は、第1段目のダイソン（Dyson）タイプの（カダディオプトリック（反射屈折））投影結像系と第2段目のダイソン（Dyson）タイプの投影結像系とのタンデム形の（縦に並んだ）組み合わせで形成されている。第1段目のダイソントタイプ（カダディオプトリック）の投影結像系は、一对のプリズムミラーPM1及びPM2と、レンズ系PL1と、凹面鏡MR1とを備えている。第2段目のダイソントタイプの投影結像系は、一对のプリズムミラーPM3及びPM4と、レンズ系PL2と、凹面鏡MR2とを備えている。そのようなアライナーは、例えば、（Swansonなどに付与された）米国特許第5,298,939号に開示されている。

【0124】図9に示されたアライナーにおいて、オリジナルプレートとして設けられたマスクMと、感光性基板として設けられたプレートPとは、キャリアッジ100に一体的に支持されている。1X（単一の倍率）の投影光学系の投影視野に対して図9で見てキャリアッジ100を左または右に移動させ、また、マスクM及びプレートPをスキャン（走査）するように照明光ILを移動させることによって、マスクMに設けられたパターンは、1X（単一の倍率）の正立像としてプレートPに転写される。

【0125】このタイプのアライナー用の投影光学系の場合、プリズムミラーPM1の入射面とマスクMの表面との間隔と、プリズムミラーPM4の出射面とプレートPの上面との間隔を最小限にすることにより、結像性能（種々の収差及び像ディストーション（像歪み））の悪化を減少させることが望ましい。換言すれば、もし、これらの間隔を十分に減少させることができるならば、光軸AX1及びAX2上に配置されたレンズ系PL1及びPL2の設計は容易となる。そのため、所望の結像性能を達成するために、プリズムミラーPM1とマスクMとの間の間隔と、プリズムミラーPM4とプレートPとの間の間隔と、を減少することが必要である。

【0126】この状態を考慮して、この投影によって投影されたパターン像の焦点合わせをし、そしてパターン像のチルト調節をするために、第1の実施例（図3）や第2の実施例（図7、図8）のような露光位置オフアクシスタイプの焦点検出系GDCと先読み焦点検出系GD

L及びGDRとが、図9に示すようにプリズムミラーP M4の周囲に設けられており、これによって、プレートPをZ方向及びチルト方向にわずかに移動させることにより、プレートPの表面と最適な焦点面BFPとをプリズムミラーPM4の真下の露光位置で正確に一致させることができる。

【0127】さらに、図9に示されたように、先読み焦点検出系GDL'及びGDR'と、露光位置オフアクシスタイプの焦点検出系GDC'とを、マスクMに面するように、マスクM側でプリズムミラーPM1の周囲に配置することができる。これらの焦点検出系によって、プリズムミラーPM1に対する照明光ILで照らされるマスクMの領域の焦点誤差とチルト誤差とを検出でき、また、これと同時に、Z方向におけるわずかなずれ（像面の焦点ずれ）と、プリズムミラーPM4から所定のワーキングディスタンスだけ離れた箇所に形成される最適な焦点面（すなわち、レチクルRの共役面）のチルトずれ（像面の傾き）と、を測定することができる。

【0128】したがって、図9に示されたアライナーにおいて、マスクMのパターンが投影光学系によって最適な状態で投影され結像される像面と、プレートPの表面とが、スキャニング露光の間、高精度に互いに対して一致するように調節することができる。

【0129】図9に示されたアライナーは、マスクMとプレートPとを垂直方向に立設するように構成することができる。図10は、スキャニングアライナーの典型的な構造の斜視図である。このスキャニングアライナーは、垂直方向に設けられた、すなわち縦置きタイプのキャリッジを備えている。縦置きタイプのキャリッジは、マスクM及びプレートPを垂直方向に（すなわち、縦置きに）保持し、また、投影光学系に対してマスクM及びプレートPを一体的に移動させて、スキャニング（すなわち、走査）できるようにしている。この態様で垂直方向に保持されたマスクM及びプレートPを有するスキャニングアライナーが、例えば、特開平8-162401に開示されている。

【0130】図10を参照すると、縦置きタイプのスキャニングアライナーの全体が、固定ベース120A上に構成されている。固定ベース120Aは、固定ベース120Aの4つのコーナー部とフロアとの間に介在された防振装置を備えたフロアに配置されている。サイドフレーム部121A及び121Bが、垂直方向（X方向）に立設するように、固定ベース120Aの両側部に設けられている。マスクMが、サイドフレーム部121Aの内側に設けられている。一方、プレートPが、サイドフレーム部121Bの内側に設けられている。そのため、開口部がサイドフレーム部121Aに形成されている。サイドフレーム部121Aのこの開口部には、照明ユニット122の端部が図示のように挿入されている。照明ユニット122は、露光用の照明光でマスクMを照らしマ

スクとプレートとのアライメントを行う光学系を備えている。

【0131】ガイドベース部123が、サイドフレーム部121Aと121Bとの間でスキャニング方向（Y方向）に伸長するように、固定ベース120Aに設けられている。2つの真つぐなガイドレール123A及び123Bが、互いに平行なY方向に伸長するように、ガイドベース部123に形成されている。縦置きキャリッジ125が、Y方向に往復移動できるように、ガイドレール123A及び123B上で、流体ベアリングや磁気浮動式ベアリングによって支持されている。縦置きキャリッジ125は、平行に配置された2つリニアモーター124A及び124Bによって非接触式にY方向に駆動される。リニアモーター124A及び124Bは、ガイドベース部123に固定された固定子を備えている。

【0132】縦置きキャリッジ125は、マスク側キャリッジ部125Aとプレート側キャリッジ部125Bとを備えている。マスク側キャリッジ部125Aは、マスクMを保持するためにサイドフレーム部121Aの内側で垂直方向に形成されている。プレート側キャリッジ部125Bは、プレートPを保持するためにサイドフレーム部121Bの内側で垂直方向に形成されている。マスクテーブル126Aが、マスク側キャリッジ部125Aに設けられている。マスクテーブル126Aは、マスクMを保持しながら、XY平面でX方向またはY方向にマスクMをわずかに動かし、あるいは、回転（ θ ）方向にマスクMをわずかに動かすことができる。さらに、マスクテーブル126Aは、マスクMを保持しながら、Z方向にマスクMをわずかに動かすことができる。他方、プレートステージ126Bが、プレート側キャリッジ部125Bに設けられている。プレートステージ126Bは、プレートPを保持しながら、XY平面でX方向またはY方向にプレートPをわずかに動かし、あるいは、回転（ θ ）方向にプレートPをわずかに動かすことができる。さらに、マスクテーブル126Aは、プレートPを保持しながら、Z方向にプレートPをわずかに動かすことができる。

【0133】上述した特開平8-162401に開示されているような投影光学系PLが、この実施例において使用されている。投影光学系PLは、複数組の（例えば、7組の）「1X（1倍）」正立像タイプのダブルダイソン（Dyson）系を、X方向に直交する方向に配置することによって構成されている。複数組のダブルダイソン（Dyson）系は、ケーシング内で一体的に組合わされ且つ収容されている。ケーシングは、XZ平面で見るとほぼT字形となっている。このように構成された投影光学系PLは、対向したサイドフレーム部121A及び121Bの上側端部から垂下することによって取り付けられている。それによって、マスクM及びプレートPからの所定の作動距離が維持されている。

【0134】図9に示されているように、投影光学系PLの全ケーシングにおいて、マスクM側の焦点検出系GDC'、GDL'、及びGDR'がマスクMに面するようにマスクM側に設けられており、プレートP側の焦点検出系GDC、GDL、及びGDRがプレートPに面するようにプレートP側に設けられている。先読み焦点検出系GDL、GDL'、GDR、及びGDR'によって画定された検出ポイント、は、複数組のダブルダイソン

(Dyson)系の投影視野に一致するように設定することができ、または、投影視野の配置にかかわらず所定の間隔で配置することができる。

【0135】図11は、図10に示された投影光学系PLのケーシングに設けられたマスクM側の焦点検出系GDC'、GDL'、及びGDR'の検出器のレイアウトの一例の斜視図である。複数組のダブルダイソン(Dyson)系の有効な投影視野DF1、DF2、DF3、DF4、DF5・・・は、スキニング方向に直交するX方向に細長い台形状の領域として設定されている。台形状の投影視野DFn(n=1、2、3・・・)は、各隣接する対のダブルダイソン(Dyson)系の台形状の投影視野が、X方向で見て傾斜側だけ互いに重なるように配置されている。

【0136】マスクM側に設けられた投影視野DFnのみのみ、図11に図示されているが、プレートP側の投影視野も同じように配置されている。例えば、図11に示された投影視野DF2は、2つの凹面鏡MR2a及びMR2bを含む、図9に示されたようなダブルダイソン(Dyson)系によって画定されている。投影視野DF4は、2つの凹面鏡MR4a及びMR4bを含むダブルダイソン(Dyson)系によって画定されている。

【0137】図11に示されたように、先読み焦点検出系GDL'用の検出器GDA1'、GDB1'、GDB2'・・・、GDA2' (GDA2'は図11に示されていない)と、先読み焦点検出系GDR'用の検出器GDD1'、GDE1'、GDE2'・・・、GDD2' (GDD2'は図11に示されていない)とが、複数の投影視野DFnの両側(スキニング方向に対して前側及び後ろ側)に配置されている。また、露光位置焦点検出器GDC1'及びGDC2' (検出器GDC2'は、図11に図示されていない)が、スキニング方向に対して直交するX方向における、複数の投影視野DFnの全体のアレイ(配列)の両端に配置されている。

【0138】上述した焦点検出器の各々は、例えば、空気マイクロメータタイプの静電気ギャップセンサとなっている。上述した焦点検出器の各々は、代わりに、斜入射光タイプの焦点検出器とすることもできる。マスクMで検出を行う焦点検出器のみのみ、図11に図示されているが、複数の検出器が、プレートPを検出できるように、同様に、焦点検出系GDC、GDL、及びGDRに配置されている。

【0139】複数組のダブルダイソン(Dyson)系の種々の光学的な特性を調節するための調節部KD1及びKD2が、図11に示された投影光学系PLのケーシングのサイド部に設けられている。そのため、もし、マスクM側またはプレートP側における最適な焦点面の位置が、光学的な特性調節によって図11のZ方向において変化したならば、Z方向位置を調節する機構、すなわち、各焦点検出器によって最適な焦点面として検出された機械的な(光学的な)焦点オフセットを設定する機構が設けられる。

【0140】この機構は、例えば、光路の長さを光学的に変えるように、Z方向における焦点検出器の位置を機械的に調節する機構とすることができる。または、この機構は、例えば、光路の長さを光学的に変えるように、最適な焦点位置として評価された位置を焦点検出器によってZ方向に光学的に調節する機構とすることができる。代わりに、マスクまたはプレートは、焦点誤差を表す検出信号に応じてZ方向に焦点合わせを行うことができるように、自動的に調節される。そして、オフセットが、Z方向において、その移動された位置に加えられる。

【0141】次に、本願発明にかかわる第4の実施例を、図12を参照して説明する。この実施例は、投影レンズ系PLの投影端部を、上述したように液体に浸しながら投影露光を行う装置に適用可能となっている。図12は、前記装置のうち投影レンズ系PLの端からウェハホルダーWHまでの部分の断面図である。

【0142】平坦な下面Peと凸状の上面とを備えた正レンズ素子LE1が、レンズバレル(鏡筒)の内側の、投影レンズ系PLの端に固定されている。この正レンズ素子LE1の下面Peは、レンズバレルのいちばん端の端面と同一平面となるように仕上げ加工されている。その結果、液体LQの流れの乱れが、最小限度になっている。液体LQに浸された投影レンズ系PLのレンズバレル端部に、図1に示されたものと同様な、先読み焦点検出系GDL及びGDRと露光位置焦点検出系GDCとからなる検出器が取り付けられている。その結果、それらのいちばん端の端部が、液体LQに浸されている。

【0143】真空吸引によってウェハWの裏面を引きつける複数の吸引面113が、ウェハホルダーWHの中央内側底部に形成されている。より具体的に説明すれば、吸引面113は、複数の円形帯状のランド部を備えている。円形帯状のランド部は、高さが約1mmとなっている。また、円形帯状のランド部は、ウェハWの直径方向に所定のピッチをもって、互いに同心状に形成されている。円形のランド部の中央部分に形成された溝の各々は、ウェハホルダーWHの管112に連通している。管112は、真空吸引を行う真空源に接続されている。

【0144】この実施例において、投影レンズ系PLの端にある正レンズ素子LE1の下面Peと、最適な焦点

状態におけるウェハWの上面（または、補助プレート部HRSの上面）との間の間隔（実質的な作動距離）、すなわち、投影光路が形成される液体LQの厚さは、5mmまたはそれ以下に設定されている。したがって、ウェハホルダーWHに満たされた液体LQの深さHqは、この厚さ（5mmまたはそれ以下）よりも2倍ないし数倍大きくすることができる。そして、ウェハホルダーWHの周囲端に垂直に形成された壁部LBの高さは、約10mmないし25mmとなっている。したがって、この実施例においては、投影レンズ系PLのワーキングディスタンスに対応する結像光路における液体LQの厚さが減少され、その結果、ウェハホルダーWHに満たされた液体LQの全容積はより小さくなり、液体[LQ]の温度制御がより容易となっている。

【0145】投影光路が形成される液体LQの領域において、露光光がその領域を通過するとき、照明エネルギーが吸収される。その結果、放射熱変動がに起こり易くなっている。もし、液体LQの深さHqが小さいならば、そのような放射熱変動による温度上昇が容易に生じ、温度制御の安定性が減少するという悪影響が生じてしまう。そのような場合において、大量液体層における放射熱変動の影響を消失させるために、液体LQの深さHqの値を実質的なワーキングディスタンスの数倍の値に設定することによって、良好な効果を得ることができる。

【0146】焦点検出系GDL、GDR、及びGDCを光学的なタイプの検出系として図12に示されたような液浸式の投影系に設けるために、ウェハWの表面や補助プレート部HRSの表面に斜めに入射する投影ビーム（光束）と、この表面から反射されたビームとが、液体LQと空気との間の界面を交差するのを防止している。そのため、そのような液浸式の投影タイプのアライナーに適した焦点/チルト検出系の一例を、図13を参照して説明する。

【0147】図13は、投影レンズ系PLの付近に配置された焦点検出系GDLの構成を示している。他の焦点検出系GDR及びGDCは、焦点検出系GDLが構成されているのと同様に構成されている。図13において、図12に示された構成要素と同じ構成要素は、同じ参照符号や参照数字によって示されている。

【0148】図13を参照すると、ガラスブロックで形成されたプリズムミラー200が、投影レンズ系PLの周辺部付近に固定されている。プリズムミラー200は下方部を備えており、その下方部は液体LQに浸されている。プリズムミラー200は、反射面200a及び200bを備えている。反射面200a及び200bの一部は、液体LQに浸されている。プリズムミラー200は、また、平坦面200c及び200dを備えている。投影されるビームや反射されるビームは、平坦面200c及び200dを通過して、プリズムミラー200のガラ

スから液体LQ内に進み、あるいは、液体LQからガラス内に進む。プリズムミラー200は、また、平坦な上面を備えている。

【0149】マルチスリットプレート205が、コンデンサーレンズまたは円筒形レンズ203を通して、発光ダイオード(LED)やレーザーダイオード(LD)のような光源202からの（ウェハW上のレジストに対して化学線作用のない波長を有する）光りLKで照らされている。これによって、焦点/チルト検出用の投影ビームが形成されている。焦点検出系GDLの検出ポイント（領域）FAn及びFBnに対応する複数の透過スリットが、マルチスリットプレート205に形成されている。各透過スリットからの光りは、ビームスプリッター207によって反射され、そして、対物レンズ209に入射して、ウェハWの上面にスリット像を形成する結像ビームとして収束する。

【0150】対物レンズ209から出た結像ビームは、プリズムミラー200の上端面を通過してプリズムミラー200に入り、反射面200aによって通常のように反射し、平坦面200cを通過して液体LQに入り、ウェハWの表面に斜めから入射し、これによって、ウェハWを照らしている。ウェハWによつて反射されたビームは、反対側の平坦面200dを通過してプリズムミラー200に入り、反射面200bによって通常のように反射され、プリズムミラー200の上端面を通過してプリズムミラー200から出て進む。この反射された光ビームは、対物レンズ211を通過し、対物レンズ211の瞳孔位置に配置された反射ミラー213によって反射される。

【0151】反射ミラー213によって反射されたビームは、対物レンズ211を通過して反対方向に進み、再び、プリズムミラー200の反射面200bと平坦面200dを経て進み、再びウェハWを照らす。ウェハWによって再び反射された光ビームは、プリズムミラー200の平坦面200cと反射面200aとを経て進み、ビームスプリッター207を通過して、光電検出器215に入射する。光電検出器215は、マルチスリットプレート205に対応する光を受光する複数の素子となっている。光電検出器215は、それぞれ、検出ポイントFAn及びFBnに関する検出信号を別々に出力する。

【0152】したがって、図13に示された焦点/チルト検出系は、ウェハWによって反射された投影ビームがウェハWによって再反射される複光路系として配置されている。そのため、その焦点/チルト検出系は、単一光路系と比較して、Z方向におけるウェハWの表面位置の誤差検出に関して、より高い感度を備えることができる。

【0153】この実施例において、ガラスブロック（プリズムミラー200）が、焦点/チルト検出系のいちばん端に設けられており、また、そのガラスブロックは、その一部が液体LQに浸されるように位置決めされてい

る。その結果、投影ビームと反射ビームとは、液体LQと空気との間のいかなる界面を通過することはない。したがって、これにより、安定したビームの光路が設けられている。さらに、投影ビームまたは反射ビームが通過する液体LQの光路の有効長さは、プリズムミラー200によって減少し、それによって、Z位置を測定するとき、液体LQの温度変化により精度の低下を避けることができる。

【0154】図1及び図5に示したウェハホルダーWHの構造の変更例を、図14及び図15を参照して説明する。図14は、液浸式の露光を行う投影露光装置に取り付けられるウェハホルダーWHの断面図である。この例においては、圧電素子のような微動調節可能なZ-駆動ユニット220が設けられている。Z-駆動ユニット220は、ウェハWを支持する吸引面113を囲む補助プレート部HRSをわずかに移動させることができる。微動調節可能なZ-駆動ユニット220は、約数十マイクロメートルのストロークだけ、Z方向に補助プレート部HRSを移動させる。

【0155】もし、ウェハホルダーWHの吸引面113上に設けられたウェハWの表面の高さと補助プレート部HRSの表面のZ方向における高さとの間の差が、許容差よりも大きいならば、このZ-駆動ユニット220を使用して、補助プレート部HRSの表面の高さを補正して、前記許容差よりも小さい値に前記差を減少させることができる。

【0156】図5を参照して上述したように、補助プレート部HRSの表面は、ウェハWの周辺部のショット領域SA1が露光されるとき、ウェハWの外側に設けられた焦点検出ポイントFA1（または、FA2）、FC1（またはFC2）、及びFD1（またはFD2）用の代替的な検出表面として機能している。しかしながら、ウェハWの内側のショット領域SA2（図5参照）が露光されるとき、これらの焦点検出ポイントはウェハW上に位置決めされる。そのため、補助プレート部HRSの表面及びウェハWの表面の一方の上に独占的に位置決めされない検出ポイントを有する焦点検出器GDA1、GDA2、GDC1、GDC2、GDD1、及びGDD2は、これらの表面の各々の上でZ位置が正確に測定されなければならない。すなわち、補助プレート部HRSの表面及びウェハWの表面のZ方向における位置が、各焦点検出器GDAn、GDCn、及びGDDnの線形焦点測定範囲内に位置している必要がある。

【0157】例えば、もし、焦点検出器の線形焦点測定範囲が±10マイクロメートルならば、補助プレート部HRSの表面及びウェハWの表面のZ位置ずれは、数マイクロメートルの範囲内に制限される。しかしながら、ウェハの厚さは、SEMI（半導体製造装置材料協会）標準によって決定された公差で変化する。使用可能な全てのウェハの厚さを数マイクロメートルの範囲内に制限

することは困難である。

【0158】そのため、露光される前に、ウェハWが図14に示されたウェハホルダーWHに引きつけられたとき、ウェハW表面の適切な部分のZ位置（例えば、周辺ショット領域の中央部分）と補助プレート部HRSの表面のZ位置との間の差が、焦点検出系（GDL、GRD、GDC）の1つを使用することによって測定され、その後、露光が行われる。もし、その差が許容範囲（例えば、数マイクロメートル）を越えているならば、図14に示された微動調節可能なZ-駆動ユニット220を制御することによってその差が許容範囲内に収まるように、補助プレート部HRSの高さが調節される。図14に示されたウェハホルダーWHが液体LQで満たされることから、微動調節可能なZ-駆動ユニット220は防水処理されており、これによって、液体の当該ユニットへの入り込みが防止されている。

【0159】次に、図15に示された構成を説明する。図15は、大気中でウェハを露光するのに適した、ウェハホルダーWHとZLステージ30とを備えた構造の変更例の断面図である。図14に示された構成要素に対応する構成要素が、同じ参照符号や参照数字によって示されている。図15を参照すると、ウェハホルダーWHは、チャックとして構成されている。ウェハWを支持するための吸引面113のみがウェハホルダーWHに形成されている。ウェハホルダーWHはZLステージ30に固定されている。

【0160】補助プレート部HRSが、微動調節可能なZ-駆動ユニット220によってZLステージ30に取り付けられている。Z-駆動ユニット220は、補助プレート部HRSとZLステージ30との間に介在されている。Z方向とチルト運動方向にZLステージ30を駆動する3つのZ-アクチュエーター32A、32C、及び32B（32Bは図15に図示せず）の各作用ポイントPVが、ウェハホルダーWHのウェハ取付面（吸引面113）と実質的に同じ高さにあるZLステージ30の周辺部のポイントに設定されている。

【0161】また、図15に示されているように、補助プレート部HRSの高さは、図14に示されたのと同じ方法で、微動調節可能なZ-駆動ユニット220を使用することによって、ウェハWの上面の高さに調節される。作用ポイントPVの高さは、ウェハ表面と同じ高さに設定される。図15に示されたZLステージ30の構造とZ-アクチュエーター32A、32C、及び32Bの構造は、図1に示されたアライナーにも適用可能である。また、図14のウェハホルダーWHを図15のZLステージ30に取り付けることにより、液浸式の投影露光装置や液浸式の投影露光方法に適した焦点合わせ及びチルト運動ステージを形成することができる。

【0162】本願発明は、露光装置への適用に関して説明した。しかしながら、上述した実施例は、本願発明の

範囲を離れることなしに、種々の方法で変更することができる。例えば、大気中で投影露光を行うアライナーの場合に、焦点検出系GDL、GDR、及びGDCは、静電容量タイプのギャップセンサや空気マイクロメータタイプのギャップセンサを備えることができる。また、本願発明は、例えば、露光光として、水銀放電ランプから放出されるg線(463nm)またはi線(365nm)やKrFエキシマーレーザーから放出されるパルス光(248nm)を使用する、ステップアンドリピートタイプ、ステップアンドスキャンタイプ、及び「1X(1倍)」スキヤニングタイプのどのタイプの投影アライナーにも適用可能である。

【0163】本願発明によれば、投影アライナーに取り付けられた投影光学系のワーキングディスタンスがきわめて小さい値に設定されている一方で、露光位置での正確な焦点合わせやチルト制御を実現することができ、それによって、投影光学系の光学設計における種々の収差の補正やディストーションの補正が容易となり、像面の近くに位置決めされた透明な光学素子のサイズを特に小さくできる。

【0164】本願発明の上述した実施例にかかわる焦点合わせ/チルト制御系の各々は、一定のタイプの投影露光装置に適用可能である。しかしながら、本願発明は、また、ビーム加工(製造)装置、描画装置、及び検査装置などのための焦点/チルト検出系にも適用可能であり、半導体製造に限定されるものではない。これらのビーム加工装置、描画装置、及び検査装置には、光学的または電気光学的な対物レンズ系が設けられている。本願発明は、基板、被検物、または被加工物上の焦点を検出するための焦点検出系として、前記光学的または電気光学的な対物レンズ系に適用できる。

【0165】図16は、レーザービームや電子ビームで被加工物を加工する装置あるいは被加工物上にパターンを描画する装置の対物レンズ光学系に適用された焦点検出系の構成を示している。図17は、図16に示された焦点検出系の検出ポイントの平坦なレイアウトを示している。

【0166】図16を参照すると、加工または描画用のビームLBWが、スキヤニングミラー300によって、一次的にまたは二次的に偏向させられ、そして、レンズ系301、固定ミラー302、及びレンズ系303を通過して、ビームスプリッター304に入射する。ビームLBWは、ビームスプリッター304によって反射され、わずかなワーキングディスタンスを有する高解像度の対物レンズ系305に入射する。ビームLBWは、対物レンズ系305によって、被加工物WP上の、所定の形状(例えば、可変長方形形状)を有する小さなスポットに集光される。

【0167】被加工物WPは、図14または図15に示されたようなものと同じウェハホルダーWHに引きつけ

られ、固定されている。補助プレート部HRSは、被加工物WPの周囲でウェハホルダーWHに一体的に取り付けられている。ウェハホルダーWHは、図示されていないXYZステージに固定されており、このXYZステージは、水平方向や図16で見て紙面に対して直交する方向に二次元的に移動可能となっている。ウェハホルダーWHは、また、垂直方向(Z方向)にわずかに移動して、焦点合わせができるようになっている。

【0168】図16に示された装置には、また、観測、アライメント、または照準合わせ用の照明光を発するための光ファイバー310と、上記ビームスプリッター304に照明光を案内するビームスプリッター311及びレンズ系312と、受光装置(例えば、フォトマルチプライヤー、撮像管、CCDなど)314とが設けられている。受光装置314は、被加工物WPから、対物レンズ系305を通して得られた、反射光や散乱し回折した光などを光電的に検出できるようになっている。

【0169】先読み焦点検出系GDL及びGDRと、加工位置焦点検出系GDCとが、対物レンズ系305の周囲に設けられている。図17は、対物レンズ系305の視野305Aと、視野305Aの周辺に配置された焦点検出系の検出ポイントの平坦なレイアウトを示している。便宜上、視野305Aの中心は、XY座標系の原点に設定されている。視野305Aの長方形領域は、スキヤニングミラー300によって引き起こされるビームLBWの偏向により、該ビームLBWのスポットがスキヤン(すなわち、走査)する範囲を示している。

【0170】焦点検出器GDA1、GDBn、及びGDA2が、対物レンズ系の視野305Aの左側サイド上に配置されており、その結果、検出ポイントFA1、FB1、FB2、FB3、及びFA2が、Y軸に平行な列となるように設定されている。また、焦点検出器GDD1、GDEn、及びGDD2が、視野305Aの右側サイド上に配置されており、その結果、検出ポイントFD1、FE1、FE2、FE3、及びFD2が、Y軸に平行な列となるように設定されている。

【0171】一方、焦点検出器GDC1が視野305Aの上方に設けられている。そして、3つの検出ポイントFD1a、FD1b、及びFD1cが、2つの検出ポイントFA1及びFD1を通りX軸に平行なライン上に配置されるように、焦点検出器GDC1は設定されている。他方、焦点検出器GDC2が視野305Aの下方に設けられている。そして、3つの検出ポイントFD2a、FD2b、及びFD2cが、2つの検出ポイントFA2及びFD2を通りX軸に平行なライン上に配置されるように、焦点検出器GDC2は設定されている。この実施例において、被加工物WPがX方向に移動する間、一組の焦点検出器GDA1、GDBn、及びGDA2と、一組の焦点検出器GDD1、GDEn、及びGDD2とが、焦点先読み機能として選択される。一方、被加

工物WPがY方向に移動する間、焦点先読み機能は、一組の焦点検出器GDA1、GDC1、及びGDD1と、一組の焦点検出器GDA2、GDC2、及びGDD2とを選択することによって達成される。この実施例は、焦点検出器GDBn、GDC1、GDC2、及びGDEnの検出ポイントを変えることにより、加工位置の焦点を検出できるように構成されている。例えば、被加工物WPが、図16の左側サイドから右側サイドにかけてX軸に沿って移動するとき、検出ポイントFA1、FB1、FB2、FB3、及びFA2を使用して先読みを行いながら、検出ポイントFD1a及びFD2aと、検出ポイントFD1b及びFD2bと、検出ポイントFD1c及びFD2cとからなる3対の検出ポイントのうち一对の検出ポイントを、加工位置の焦点を検出するために選択することができる。

【0172】この構成は、下記の効果を達成できるように意図されている。すなわち、加工用または描画用の光ビームLBWのスポット位置が、スキャニング範囲305Bで変化する。そのため、例えば、光ビームLBWのスポットが、図17に示されるようなスキャニング範囲305Bの最も左端に位置決めされたとき、2つの検出ポイントFD1a及びFD2aを選択して、加工位置の焦点検出を行うことができる。光ビームLBWのスポットが、スキャニング範囲305Bの最も右端に位置決めされたとき、2つの検出ポイントFD1c及びFD2cを選択して、加工位置の焦点検出を行うことができる。

【0173】この方法において、焦点制御やチルト制御の再現性と精度とが改善される。図16に示されたホルダーWHは、XYステージ上で、焦点合わせ(Z)方向とチルト運動方向にわずかに移動する。この移動を行うための駆動系と制御系として、実質的な変更を行うことなしに図4に示されたものを使用できる。

【0174】上述したように、図16及び図17に示された焦点検出系は、被加工物WPの二次元運動方向の各々において焦点の先読み検出ができるように、また、加工位置に関する焦点検出ポイントが、視野305Aにおけるビームスポットの位置に応じて選択できるように構成されている。その結果、被加工物WPの周辺部でさえも、正確に焦点合わせがなされた状態で精密に加工(結像)され、または、パターン結像が、そのような状態で被加工物WP上に行われる。

【0175】本願発明の焦点/チルト検出系が適用可能な検査装置の概要を、図18を参照して説明する。図18は、フォトリソグラフィー用のマスクやレチクルに写されたパターンの欠陥、あるいは、基板に形成された、半導体装置や液晶ディスプレイ装置の回路パターンの欠陥を光学的に検査する装置の例を示している。

【0176】最近、対物レンズ光学系を通して被検査パターンを拡大することによって、また、CCDカメラなどによりその拡大された被検査パターンの拡大像を形成

することによって、さらに、そのような像から得られた像信号を分析することによって、被検物(基板)に形成された被検査パターンの品質を検査したり異質の粒子などの異物や損傷の存在及び非存在を検査する技術が、この種の検査装置に積極的に導入されている。

【0177】そのような場合、被検査パターンの像が正確に拡大されるように、精度を改善することが重要である。そのため、解像度が高く視野サイズの大きい、しかも、最小限の収差とディストーションで像を形成できる対物レンズ系が要求される。そのような対物レンズ系は、当然に、ワーキングディスタンスが小さくなっており、また、焦点検出が対物レンズ系を通して行われるように、通常、スルーザレンズ(TTL)タイプとして設計される。しかしながら、TTL光学焦点検出系は、検出感度(被検物を焦点合わせする際の誤差に対する検出信号の変化量)を制限する問題を伴ってしまう。なぜなら、対物レンズ系の開口数(NA)が制限されるからである。

【0178】もし、TTL焦点検出系が、検査用の照明光の波長と異なる波長を有する光りを使用するように形成されているならば、対物レンズ系の光学的設計を行う場合、検査用の照明光の波長帯域と焦点検出照明光の波長帯域とを考慮して、収差を補正しなければならない。そのような場合、レンズは、検査用の照明光に対して最適に設計できるとは限らない。

【0179】そのとき、図18に示されているように、複数組の焦点検出系GDC、GDL、及びGDRが、対物レンズ330の周囲に設けられ、これにより、図16及び図17に示された焦点検出系と同じ方法で検査を行うことができるようになっていく。検査すべき被検物WPは、例えば、パターンPaが下面に形成されたマスクとなっている。被検物WPは、その周辺部で、二次元方向に移動可能なフレーム状のステージ331により、支持されている。ステージ331は開口部を備えている。対物レンズ330は、上側を向いた状態で、ステージ331の移動を案内するベース部材332に取り付けられている。パターンPaの局部領域の拡大像は、ビームスプリッター334とレンズ系335とを通過して、撮像装置336の像面に結像する。

【0180】被検物WPの反対側には、照明光学系のコンデンサーレンズ338が、対物レンズ330の軸AXと同軸に配置されている。光ファイバー340からの照明光は、コンデンサーレンズ341と、照明視野絞り342と、レンズ系343とを通過して進み、コンデンサーレンズ338に入射するようになっていく。それによって、被検物WPのうち対物レンズ330の視野に対応する領域が、一様な照度で照らされる。

【0181】上述した構成において、焦点検出系GDC、GDL及びGDRは、上側でパターンPaに面するように、対物レンズ330と一緒にベース部材332に

取り付けられている。複数の焦点検出器（複数の検出ポイント）が、先読み可能な焦点検出系GDL及びGDRに設けられている。一方、少なくとも一对の焦点検出器が、検査ポイントで検出可能な焦点検出系GDCに設けられている。

【0182】また、図18に示した焦点検出系において、ステージ331上の被検物WPは、光軸AXに沿って垂直方向に移動できるようにしてもよく、または、図4に示されたような制御回路を使用することによって焦点検出器により検出された焦点位置情報に基づいてチルトできるようにしてもよい。しかしながら、図18に示された検査装置においては、撮像装置336によって結像されたパターンPaの拡大像の品質が高くなるという効果のみが得られれば十分である。そのため、被検物WPを垂直方向に移動させる手段の代わりに、対物レンズ330またはレンズ系335を光軸AXに沿ってわずかに移動させるための焦点調整装置352Aまたは352Bを設けることができる。

【0183】被検物WPとして設けられたマスクパターンPaを下方に向くように位置決めする検査装置を、図18の例を参照して説明する。言うまでもなく、この実施例は、パターンPaを上に向け対物レンズを下に向けた検査装置にも直接的に適用できる。図18に示された装置において、パターンPaの伝達された像は、同軸に設けられた透過照明系によって検査される。

【0184】しかしながら、前記透過照明系は、同軸の反射照明光がビームスプリッター334を通して図18の矢印350の方向に導入されるように、変更することができる。そのような場合、撮像装置336によって受光された拡大像は、パターンPaからの反射光を結像することによって形成される。

【0185】さらに、他の方法を用いることもできる。その方法においては、所望の形状を有する透過部を備えた空間フィルターが、照明光学系の光路またはその結像光学系に形成されたフーリエ変換平面の位置に取り外し可能に設けられている。これにより、パターンPaの明視野像または暗視野像が、撮像装置336に選択的に結像できるようになっている。

【0186】この開示は例示されたものであり、本願発明が、この開示に限定されるものではない。さらに、この開示の観点から当業者にとって別の変更例は明らかであり、かかる変更例は、添付した請求項の範囲に含まれる。

【図面の簡単な説明】

【図1】図1は、本願発明の第1の実施例におけるスキヤニング投影露光装置（アライナー）を示す線図である。

【図2】図2は、スキヤニングシーケンスを説明するための略斜視図である。

【図3】図3は、図1に示された投影レンズ系の端の付

近に設けられた焦点検出系の配置の略斜視図である。

【図4】図4は、図1に示されたAFコントロールユニット回路構造の回路ブロック線図である。

【図5】図5は、図1に示された装置のウェハ上における、投影視野と焦点合わせ用のセンサとの間の位置関係の平面図である。

【図6】図6Aは、図1に示された装置の焦点合わせ作用とチルト作用との線図である。図6Bは、図1に示された装置の焦点合わせ作用とチルト作用との線図である。図6Cは、図1に示された装置の焦点合わせ作用とチルト作用との線図である。図6Dは、図1に示された装置の焦点合わせ作用とチルト作用との線図である。

【図7】図7は、本願発明の第2実施例における焦点／チルト検出系の検出領域のレイアウトの平面図である。

【図8】図8は、図7に示された焦点／チルト検出系の変更例のレイアウトの側面図である。

【図9】図9は、本願発明がスキヤニング露光装置（スキヤニングアライナー）に適用される、本願発明の第3実施例の略線図である。

【図10】図10は、図9に示されたスキヤニングアライナーに適用される縦置きキャリッジの斜視図である。

【図11】図11は、図9に示された投影アライナーに設けられた、投影光学系と焦点検出系との斜視図である。

【図12】図12は、本願発明の構成が液浸式投影露光装置に適用された場合における本願発明の第4の実施例の断面図である。

【図13】図13は、液浸式投影露光装置に適した焦点／チルト検出系の光路レイアウトの例を示す線図である。

【図14】図14は、ウェハホルダーの変更例の断面図である。

【図15】図15は、ウェハホルダーの変更例の断面図である。

【図16】図16は、本願発明の焦点検出センサが適用される、製造装置、結像装置、または描画装置の1例を示す線図である。

【図17】図17は、図16に示された装置に適用される焦点検出系の典型的なレイアウトを示す平面図である。

【図18】図18は、本願発明の焦点／チルト検出系が適用される典型的な検査装置の構造を概略的に示している線図である。

【符号の説明】

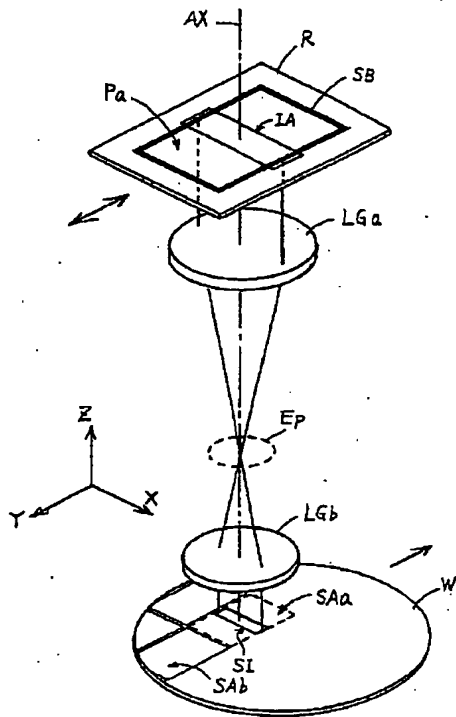
10	照明系	11	ミラー
12	集光レンズ系	13	柱状構造体
14	レチクルステージ	15	モーター
16	移動鏡	17	レーザー干渉計システム
20	レチクルステージコントローラー		

25	メインコントローラ ジ	30	ZLステー ジ	ズ系	
31	移動鏡 チューター	32A	Z-アク チューター	310	光ファイバー ブリッター
32B	Z-アクチューター チューター	32C	Z-アク チューター	312	レンズ系
33	レーザー干渉計 ジ	34	XYステー ジ	330	対物レンズ
35	ウェハステージコントローラ			332	ベース部材
36	駆動モーター 路	52	位置監視回 路	334	ビームスプリッター
54	第1の計算器 及び記憶回路	56	第2の計算 器	341	コンデンサーレンズ 絞り
58	第3の計算及び駆動回路 系	80A	照明光学 系	343	レンズ系 サーレンズ
80B	受光装置 ットプレート	81A	マルチスリ ットプレート	352A	調整装置 置
81B	受光スリットプレート	82A	レンズ系	AX	光軸
82B	レンズ系	83A	反射鏡	Ep	射出瞳 ント
83B	反射鏡 ズ	84A	対物レン ズ	FB1	検出ポイント ント
84B	対物レンズ	85A	プリズム	FB3	検出ポイント ント
85B	プリズム ジ	100	キャリッ ジ	FC1	検出ポイント ント
112	管	113	吸引面	GDL	焦点検出系 系
120A	固定ベース フーム部	121A	サイド フーム部	GDA1	検出器
121B	サイドフーム部 ット	122	照明ユニ ット	GDB1	検出器
123	ガイドベース部 レール	123A	ガイド レール	GDB3	検出器
123B	ガイドレール 側キャリッジ部	125A	マスク 側キャリッジ部	GDD2	検出器
125B	プレート側キャリッジ部 テーブルA	126A	マスク テーブルA	GDE2	検出器
126B	プレートステージ ミラー	200	プリズム ミラー	GDC	焦点検出系
200a	反射面	200b	反射面	GDC2	検出器
200c	平坦面	200d	平坦面		ート部
202	光源 リットプレート	205	マルチ リットプレート	IA	パルス照明光
207	ビームスプリッター ズ	209	対物レン ズ	ILF	照明光 ープリズム系
211	対物レンズ ー	213	反射ミラ ー	LGb	後方グループプリズム系
215	光電検出器 ユニット	220	Z-駆動 ユニット	LLb	直線
300	スキャニングミラー	301	レンズ系	LE1	正レンズ素子
302	固定ミラー	303	レンズ系	LB	壁部
304	ビームスプリッター	305	対物レン ズ	LBW	ビーム
				MR1	凹面鏡
				MR2a	凹面鏡
				NT	切欠き
				Pa	回路パターン領域
				PL	投影レンズ系 ミラー
				PM2	プリズムミラー ミラー
				PM4	プリズムミラー ト
				311	ビームス テージ
				314	受光装置
				331	ステージ
				335	レンズ系
				336	撮像装置
				342	照明視野
				338	コンデン サーレンズ
				352B	調整装置
				Cp	像視野
				FA1	検出ポイ ント
				FB2	検出ポイ ント
				FA2	検出ポイ ント
				FC2	検出ポイ ント
				GDR	焦点検出 系
				GDA2	検出器
				GDB2	検出器
				GDD1	検出器
				GDE1	検出器
				GDE3	検出器
				GDC1	検出器
				HRS	補助プレ ート部
				IL	照明光
				LGa	前方グル ーププリズム系
				LLa	直線
				LLc	延長線
				LQ	液体
				LK	光り
				M	マスク
				MR2	凹面鏡
				MR2b	凹面鏡
				P	プレート
				Pe	平坦な下面
				PM1	プリズム
				PM3	プリズム
				PV	作用ポイン ト

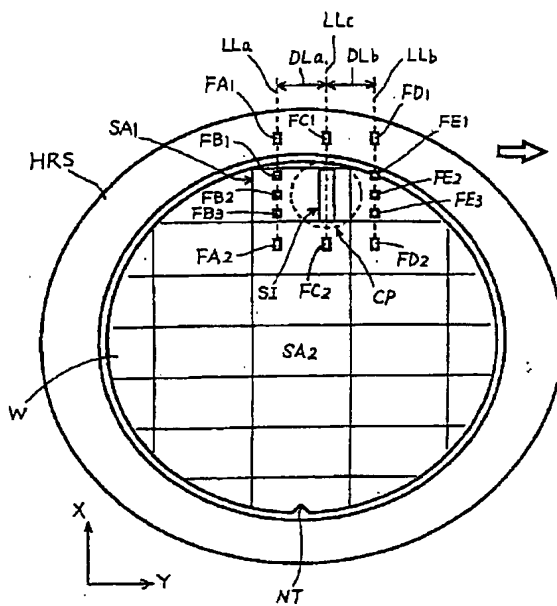
S I 投影像
W ウェハ

[illegible]

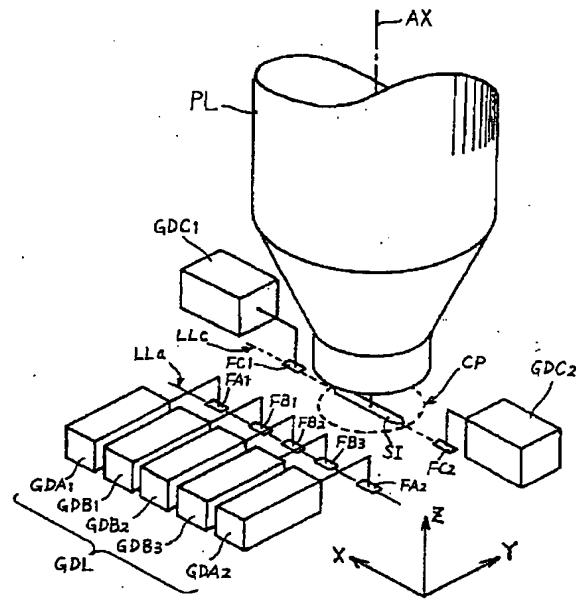
【図 2】



【図 5】



【図 3】



【図 6】

Fig. 6A

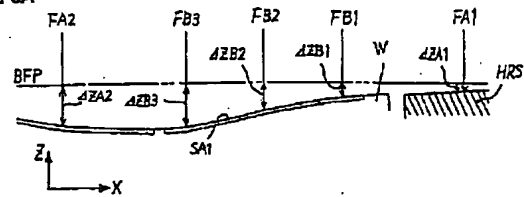


Fig. 6B

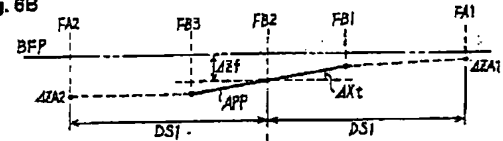


Fig. 6C

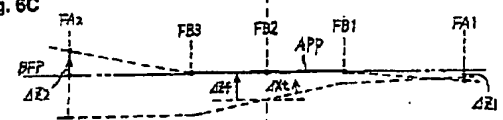
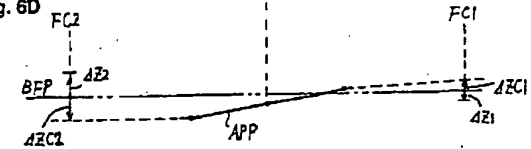
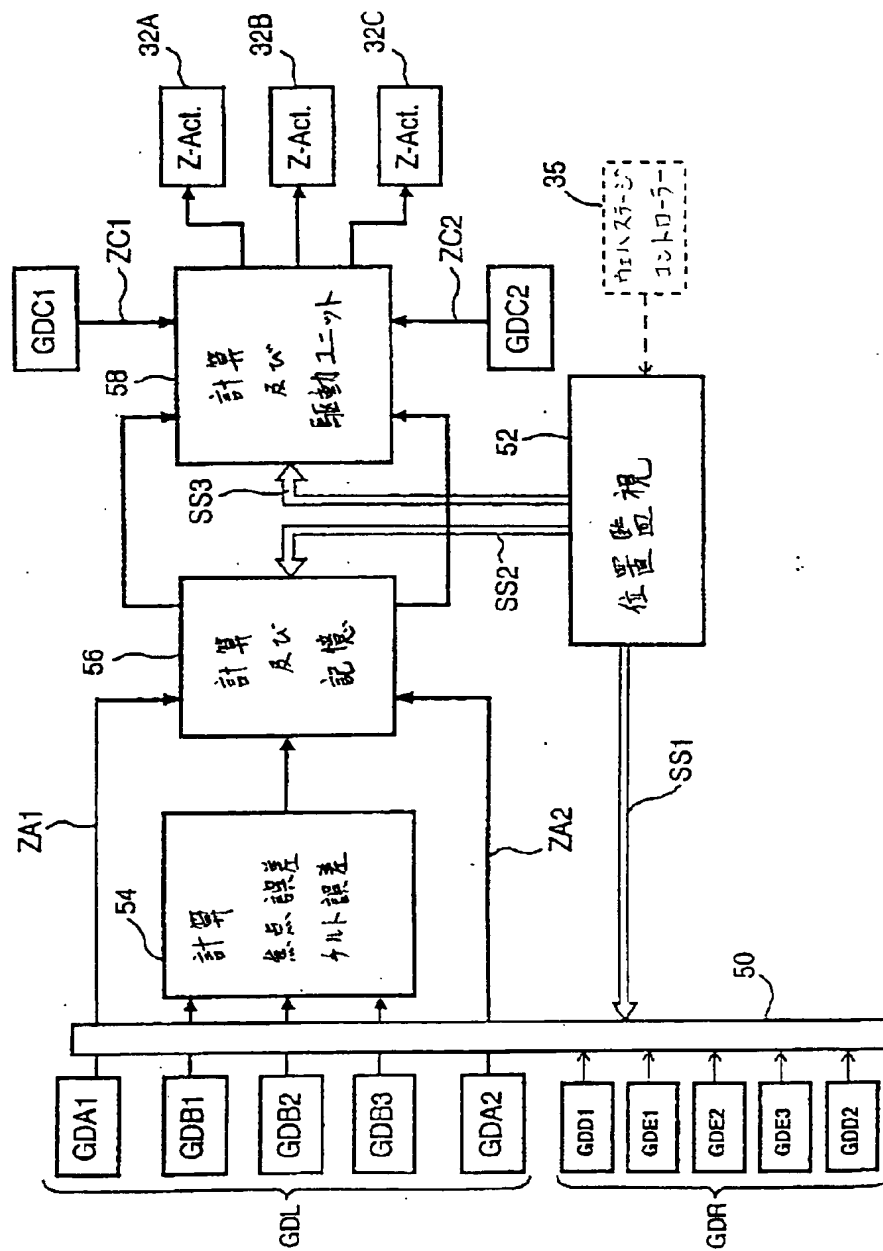


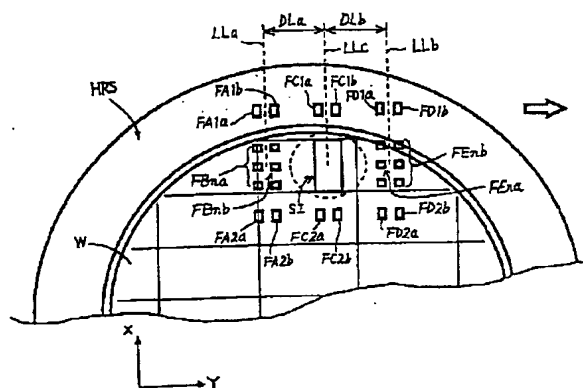
Fig. 6D



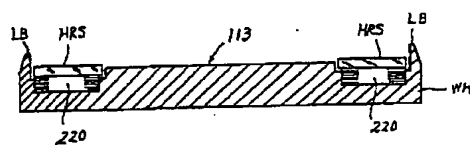
【図4】



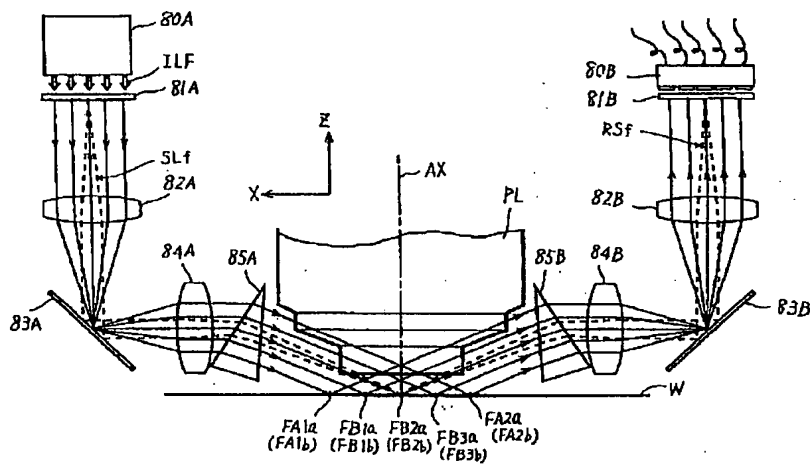
【図 7】



【図 14】

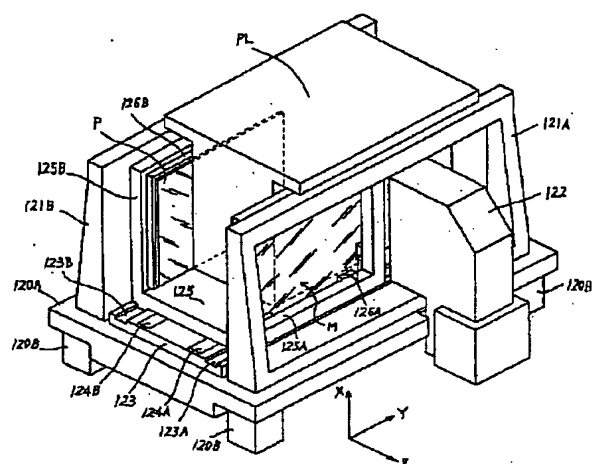
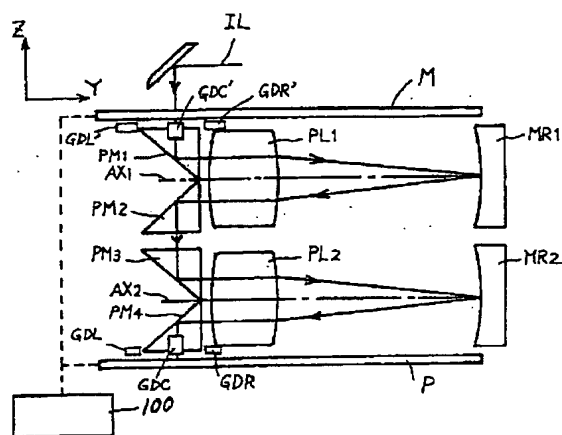


【図 8】

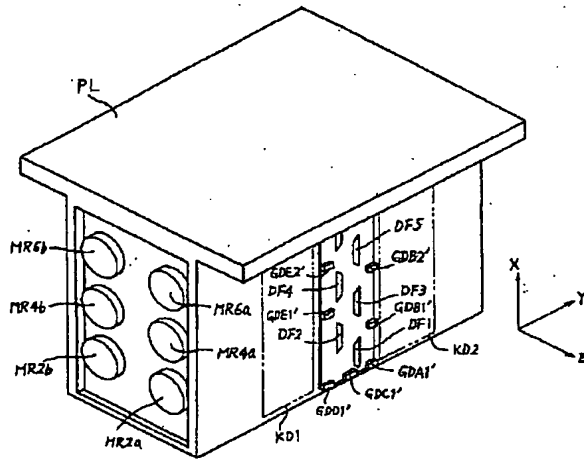


【図 9】

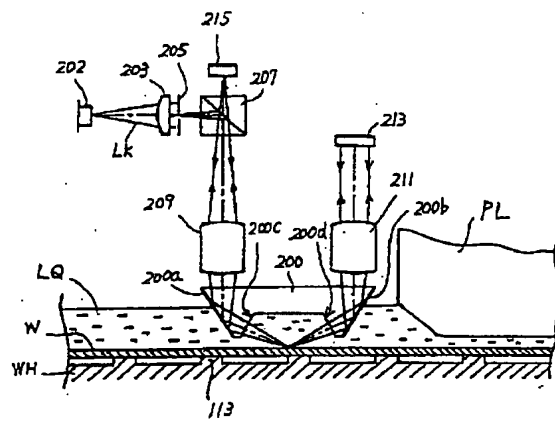
【図 10】



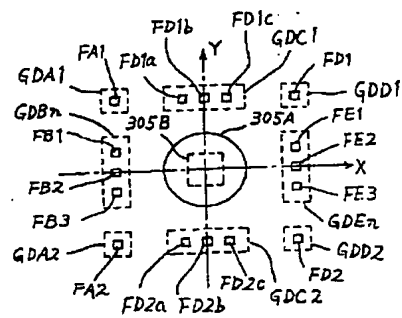
【図 11】



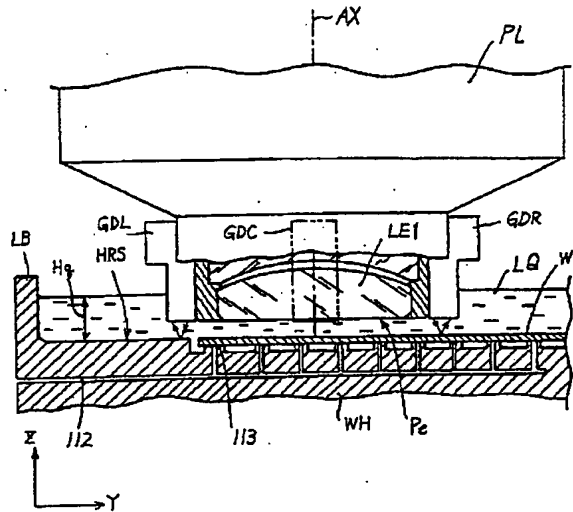
【図 13】



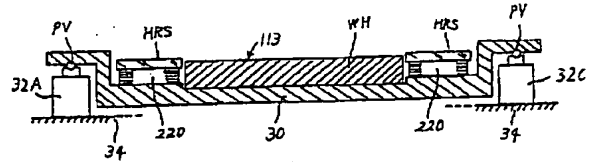
【図 17】



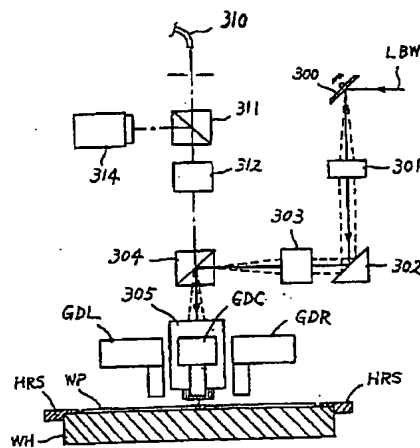
【図 12】



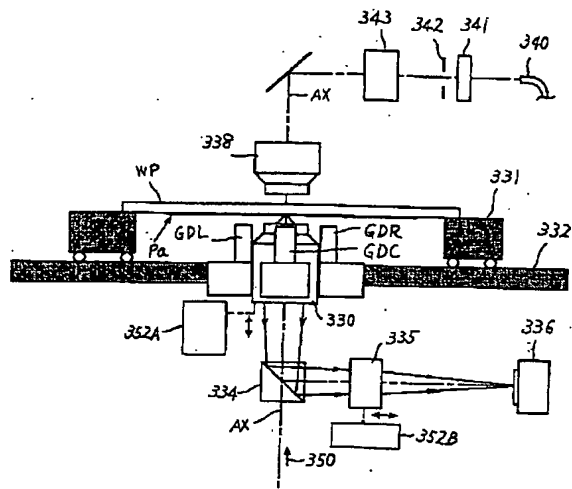
【図 15】



【図 16】



【図18】



1. Title of Invention

FOCUSING AND TILTING ADJUSTMENT SYSTEM
FOR LITHOGRAPHY ALIGNER,
MANUFACTURING APPARATUS OR INSPECTION APPARATUS

2. Claims

1. A scanning exposure apparatus comprising:

(a) an imaging system for projecting an image of a pattern of a mask onto a substrate at an imaging field;

(b) a scanning mechanism for moving the mask and the substrate in a scanning direction relative to said imaging system;

(c) an adjusting system for adjusting a focus of the projected image on the substrate;

(d) a first detection system having a detection area at a first position located outside the imaging field of said imaging system and spaced apart from the imaging field in the scanning direction, said first detection system detecting the position of a principal surface of the substrate in a Z-direction;

(e) a second detection system having a detection area at a second position located outside the imaging field of said imaging system and spaced apart from said first position in a direction intersecting the scanning direction, said second detection system detecting the position of the principal surface of the substrate in the Z-direction;

(f) a third detection system having a detection area at a third position located outside the imaging field of said imaging system, spaced apart from the imaging field in a direction intersecting the scanning direction and also spaced apart from said second position in the scanning direction, said third detection system detecting the position of the principal surface of the substrate in the Z-direction;

(g) a calculator coupled to said first and

second detection systems and calculating a deviation between the first Z-position detected by said first detection system and a target Z-position and storing the second Z-position detected by said second detection system at the time of detection by said first detection system; and

(h) a controller coupled to said adjusting system and to said calculator and to said third detection system and controlling said adjusting system on the basis of the calculated deviation, the stored second Z-position and the third Z-position detected by said third detection system when the area on the substrate corresponding to the detection area of said first detection system is positioned in the imaging field of said imaging system by movement of said scanning mechanism.

2. An exposure apparatus according to Claim 1, wherein said scanning mechanism includes a mask stage for holding the mask, a substrate stage for holding the substrate, and a synchronizing drive system for moving said mask stage and said substrate stage at a speed ratio corresponding to a projection magnification of said imaging system.

3. An exposure apparatus according to Claim 2, wherein said substrate stage includes an attraction portion for attracting a reverse surface of the substrate, and an auxiliary plate portion surrounding the substrate at a height approximately equal to the principal surface of the substrate when the substrate is supported on said attraction portion.

4. An exposure apparatus according to Claim 3, wherein said second detection system and said third

detection system are arranged to detect the position of a surface of said auxiliary plate portion in the Z-direction by at least one of the detection areas when a shot area of the substrate to be exposed by the pattern of the mask is at a peripheral portion of the substrate.

5. An exposure apparatus according to Claim 4, wherein each of said first, second and third detection systems generates a Z-direction positional error value of one of the principal surface of the substrate and the auxiliary plate portion relative to predetermined reference Z-positions with respect to said first, second and third detection systems.

6. An exposure apparatus according to Claim 5, wherein, if the predetermined reference Z-positions with respect to said first, second and third detection systems differ from each other, the differences between the reference Z-positions are detected by a calibration.

7. An exposure apparatus according to Claim 4, wherein, if the scanning direction of the substrate is a Y-direction and if a direction perpendicular to each of the Y-direction and the Z-direction is an X-direction, said first detection system includes a first focus detector of a multi-point type having a plurality of detection areas in a row along the X-direction on the substrate over a range of a size of the imaging field of said imaging system in the X-direction.

8. An exposure apparatus according to Claim 7, wherein said second detection system includes a plurality of second focus detectors having detection areas on opposite sides of the row of the plurality of

detection areas of said multi-point focus detector in the X-direction, each of said second focus detectors separately detecting the Z-direction position of the principal surface of one of the substrate and the auxiliary plate portion at each of the detection areas.

9. An exposure apparatus according to Claim 8, wherein said third detection system includes a plurality of third focus detectors on the opposite sides of the imaging field of said imaging system in the X-direction, each of said third focus detectors separately detecting the Z-direction position of the principal surface of one of the substrate and the auxiliary plate portion at each of the detection areas.

10. A projection exposure apparatus comprising:
- (a) an imaging system for projecting an image of a mask pattern onto a substrate at a projection field;
 - (b) a movable stage mechanism for moving in intersecting X and Y directions to position the substrate with respect to the image of the projected mask pattern;
 - (c) an adjusting mechanism for adjusting a focus of the projected mask pattern image on the substrate;
 - d) a first detection system having a detection area at a first position located outside the projection field of said imaging system and spaced apart from the projection field in the Y direction, said first detection system detecting the position of a principal surface of the substrate in a Z direction;
 - (e) a second detection system having a detection area at a second position located outside the projection field of said imaging

system and spaced apart from said first position in the X direction, said second detection system detecting the position of the principal surface of the substrate in the Z direction;

(f) a third detection system having a detection area at a third position located outside the projection field of said imaging system, spaced apart from the projection field in the X direction and also spaced apart from said second position in the Y direction, said third detection system detecting the position of the principal surface of the substrate in the Z direction;

(g) a calculator coupled to said first and second detection systems, and calculating a deviation between the first Z-position detected by said first detection system and a target Z-position and for storing the second Z-position detected by said second detection system at the time of detection made by said first detection system; and

(h) a controller coupled to said adjusting ~~system~~ ^{mechanism} and said calculator and said third detection system, and controlling said adjusting mechanism on the basis of the calculated deviation, the stored second Z-position and the third Z-position detected by said third detection system when the area on the substrate corresponding to the detection area of said first detection system is positioned in the projection field of said imaging system by said movable stage mechanism.

11. An exposure apparatus according to Claim 10, wherein said first detection system includes a plurality of first focus detectors having a plurality of detection areas in a row along the X direction in a

range according to a size of the projection field of said imaging system in the X direction, each of said first focus detectors separately detecting the Z-position of the principal surface of the substrate at each of the detection areas.

12. An exposure apparatus according to Claim 11, wherein said second detection system includes two second focus detectors having two detection areas placed on opposite sides of the row of the plurality of detection areas of said first detection system, each of said second focus detectors separately detecting the Z-position of the principal surface of the substrate at each of the two detection areas.

13. An exposure apparatus according to Claim 12, wherein said third detection system includes two third focus detectors placed on opposite sides of the projection field of said imaging system in the X direction, each of said third focus detectors separately detecting the Z-position of the principal surface of the substrate at each of the two detection areas.

14. An exposure apparatus according to Claim 13, wherein said movable stage mechanism includes a mount portion for attracting a reverse surface of the substrate and an auxiliary plate portion which surrounds the substrate at a height substantially equal to the principal surface of the substrate when the substrate is supported on said mount portion, a surface of said auxiliary plate being detected by one of said two second focus detectors and one of said two third focus detectors.

15. A scanning exposure method in which a pattern

of a mask is transferred onto a sensitive substrate by projecting a part of the mask pattern on the sensitive substrate through a projection system and by moving the mask and the sensitive substrate relative to a projection field of the projection system, the method comprising the steps of:

(a) mounting the sensitive substrate on a holder having an auxiliary plate portion surrounding the sensitive substrate at a height substantially equal to a height of a principal surface of the sensitive substrate;

(b) reading a focus error of an exposure area of the sensitive substrate on which area a part of the mask pattern is to be projected, the focus error of the exposure area being read before the exposure area reaches the projection field of the projection system during scanning movement of the holder and the sensitive substrate;

(c) detecting a focus error of the principal surface of a part of one of the sensitive substrate and the auxiliary plate portion by an exposure position focus detection system disposed apart from the projection field of the projection system in a direction perpendicular to the direction of said scanning movement when the exposure area on the sensitive substrate reaches the projection field; and

(d) adjusting the focus between the projection system and the sensitive substrate on the basis of the focus errors detected by said steps (b) and (c) so that the focus error of the exposure area on the sensitive substrate is corrected in the projection field of the projection system.

16. A method according to Claim 15, applied to a

projection aligner having a projection system having an effective working distance to the principal surface of the substrate of 20 mm or less.

17. A method according to Claim 15, applied to an immersion projection exposure apparatus in which a space containing a projection optical path between the sensitive substrate and a transparent optical element disposed at an image plane side of the projection optical system is liquid filled.

18. A method according to Claim 17, wherein the projection optical system has a working distance such that the thickness of the liquid between the sensitive substrate and the transparent optical element of said projection optical system is 2 mm or less.

19. A method according to Claim 15, applied to a scanning exposure apparatus having a catadioptric projection system having a refractive optical material and a reflecting optical material, and in which a transparent optical element is disposed at an image plane side.

20. A method according to Claim 19, wherein the transparent optical element disposed at the image plane side is a prism mirror having an emergent surface substantially parallel to the principal surface of the sensitive substrate.

21. A focusing apparatus provided in an apparatus having an objective optical system to control focusing between a surface of a workpiece and the objective optical system, said focusing apparatus comprising:

(a) a first detection system having a detection area at a first position located outside

a field of said objective optical system, said first detection system detecting a position of the surface of the workpiece in the focusing direction;

(b) a second detection system having a detection area at a second position located outside the field of said objective optical system and spaced apart from said first position, said second detection system detecting the position of the surface of the workpiece in the focusing direction;

(c) a third detection system having a detection area at a third position located outside the field of said objective optical system and spaced apart from each of said first and second positions, said third detection system detecting the position of the surface of the workpiece in the focusing direction;

(d) a calculator coupled to said first and second detection systems, and calculating a deviation between the first focus position detected by said first detection system and a target focus position and for storing the second focus position detected by said second detection system at the time of detection made by said first detection system; and

(e) a controller coupled to said calculator and to said third detection system, and controlling focusing of the objective optical system on the surface of the workpiece on the basis of the calculated deviation, the stored second focus position and the third focus position detected by said third detection system when the area on the workpiece corresponding to the detection area of said first detection system is positioned in the field of said objective optical

system by relative movement of the workpiece and the objective optical system.

22. A method of controlling focusing of an objective optical system onto a surface of a workpiece when the workpiece and a field of the objective optical system are moved relative to each other in X and Y directions, said method comprising the steps of:

(a) mounting the workpiece on a holder having an auxiliary plate portion surrounding the workpiece at a height substantially equal to a height of the surface of the workpiece;

(b) reading a focus error of a predetermined local portion of the surface of the workpiece before the local portion of the workpiece reaches the field of the objective optical system during movement of said holder and the workpiece in a predetermined moving direction;

(c) detecting a focus error of the surface of a part of one of the workpiece and the auxiliary plate portion by a first focus detection system disposed apart from the field of the objective optical system in a direction perpendicular to the moving direction when the local portion of the workpiece reaches the field; and

(d) controlling the focusing between the objective optical system and the workpiece on the basis of the focus errors detected by said steps (b) and (c) so that the focus error of the local portion of the workpiece is corrected in the field of the objective optical system.

23. A method according to Claim 22, applied to at least one of a manufacturing instrument, a lithography exposure apparatus, a writing apparatus and an inspection apparatus having a small effective working

/0

distance such that a detecting beam of an oblique incident light type focus detector cannot be obliquely led to the surface of the workpiece immediately below the objective optical system.

24. A projection exposure apparatus for projecting a mask pattern image onto a sensitive substrate through an optical imaging system and a liquid in a space between the substrate and the imaging system, said apparatus comprising:

- an assembly holding a plurality of optical elements of said imaging system, wherein at least an end portion of said assembly is immersed in said liquid; and

- a distal optical element mounted at the end portion of said assembly and having a distal surface which confronts the substrate and contacts said liquid;

- wherein the distal surface of said distal optical element and a surface of the end portion of said assembly are substantially flush to each other, thereby suppressing disturbance of flowing of said liquid.

25. A method for fabricating a feature on a semiconductor wafer, employing a projection system, comprising the steps of:

- (a) mounting the semiconductor wafer on a holder having a wall portion vertically provided at a peripheral portion to form a liquid layer on the wafer for achieving an immersed condition between a surface of the wafer and said projection system;

- (b) scanning said holder along an image plane of said projection system to perform a scan-exposure by projecting a feature pattern image

//

onto the wafer through said projection system and said liquid layer; and

(c) correcting, during said scanning step, at least one of focus and tilt error between the surface of the wafer and the image plane of said projection system by using a focus detecting system which has a plurality of focus detection points disposed outside an image field of said projection system.

26. The method of Claim 25, wherein the projection system has a resolution less than 0.5 micrometers

27. A scanning exposure method to transfer a pattern of a mask onto a substrate through a imaging system, the method comprising the steps of:

providing a first detection system having a first detection area located outside a imaging field of the imaging system and spaced apart from the imaging field in a scanning direction, said first detection system detecting the position of a surface of the substrate in a optical axis direction of the imaging system;

providing a second detection system having a second detection area located outside a imaging field of the imaging system and spaced apart from the first detection area in a direction intersecting the scanning direction, said second detection system detecting the position of the surface of the substrate in the optical axis direction;

providing a third detection system having a third detection area located outside a imaging field of the imaging system and spaced apart from the imaging field in a direction intersecting the scanning direction and also spaced apart from the second detection area in the scanning direction, said third detection system detecting a deviation between the position of the surface of the substrate and a target position in the optical axis direction;

determining the target position of the third detection system based on the result of detection of the first and second detection system during an exposure of the substrate ; and

adjusting a positional relationship between the surface of the substrate and a imaging plane of the imaging system based on the result of detection of the first, second and third detection system during the exposure of the substrate.

3. Detailed Description of Invention

BACKGROUND OF THE INVENTION

Field of the Invention

The present invention relates to semiconductor fabrication and more particularly to a lithography exposure apparatus (aligner) for transferring a circuit pattern from a mask or a reticle onto a sensitive substrate.

The present invention also relates to a system for detecting a focal point on a workpiece (wafer, substrate or plate etc.) and for detecting a tilt of the workpiece, which is applicable to certain kinds of apparatus such as an apparatus for manufacturing a workpiece or imaging a desired pattern in a surface of a workpiece using a laser or electron beam and an apparatus for optically inspecting the state of a surface of a workpiece.

Description of the Related Art

Recently, dynamic random access memory semiconductor chips (DRAMs) having an integration density of 64 Mbits have been mass-produced by semiconductor fabrication techniques. Such chips are manufactured by exposing a semiconductor wafer to images of circuit patterns to form e.g. ten or more layers of circuit patterns in a superposition manner.

Presently, lithography apparatuses used for such chip fabrication are projection aligners in which a circuit pattern drawn in a chromium layer on a reticle (mask plate) is transferred onto a resist layer on a wafer surface through a 1/4 or 1/5 reduction optical imaging system by irradiating the reticle with i-line radiation (wavelength: 365 nm) of a mercury discharge lamp or pulse light having a wavelength of 248 nm from

a KrF excimer laser.

Projection exposure apparatuses (projection aligners) used for this purpose are generally grouped, according to the types of imaging optical system, into those using a step-and-repeat system, i.e., so-called steppers, and those using a step-and-scan system which has attracted attention in recent years.

In the step-and-repeat system, a process is repeated in which, each time a wafer is moved to a certain extent in a stepping manner, a pattern image on a reticle is projected on a part of the wafer by using a reduction projection lens system formed only of a refractive optical material (lens element) and having a circular image field or an unit magnification projection lens system formed of a refractive optical material (lens element), a prism mirror and a concave mirror and having a noncircular image field to expose a shot area on the wafer or plate to the pattern image.

In the step-and-scan system, a wafer is exposed to an image of a portion of a circuit pattern on a reticle (for example, in the form of a circular-arc slit) which is projected on the wafer through a projection optical system. Simultaneously, the reticle and the wafer are continuously moved at constant speeds at a speed ratio according to the projection magnification, thus exposing one shot area on the wafer to the image of the entire circuit pattern on the reticle in a scanning manner.

For example, as described on pp 256 to 269 of SPIE Vol. 922 Optical/Laser Microlithography (1988), the step-and-scan system is arranged so that, after one shot area on the wafer has been scanned and exposed, the wafer is moved one step for exposure of an adjacent shot area, and so that the effective image field of the projection optical system is limited to a circular-arc slit. Also, the projection optical system is

considered to be a combination of a plurality of refractive optical elements and a plurality of reflecting optical elements, such as one disclosed in U.S. Patent 4,747,678 (to Shafer).

U.S. Patent 5,194,839 (to Nishi) discloses an example of an aligner in which a step-and-scan system is realized by mounting a stepper reduction projection lens having a circular image field. This publication also discloses a method in which a pattern image projected at the time of scanning exposure is transferred onto a wafer by increasing the depth of focus (DOF) by a predetermined amount on the wafer.

In the field of lithography technology, it is now desirable to be able to fabricate semiconductor memory chips having an integration density and fineness of the 1 or 4 Gbit class by light exposure. Since light exposure techniques have a long technological history and are based on a large amount of accumulated know-how, it is convenient to continue use of light exposure techniques. It is also advantageous to use light exposure techniques considering drawbacks of alternative electron beam exposure or X-ray technologies.

It is believed that resolutions in terms of minimum line width (feature width) of about 0.18 μm and 0.13 μm are required with respect to 1 Gbit and 4 Gbit memory chips, respectively. To achieve resolution of such a line width, far ultraviolet rays having a wavelength of 200 nm or shorter, e.g., those produced by an ArF excimer laser, are used for illumination for irradiating the reticle pattern.

As optical vitreous materials having a suitable transmittance with respect to far ultraviolet rays (having a wave-length of 400 nm or shorter), quartz (SiO_2), fluorite CaF_2 , lithium fluoride (LiF), magnesium fluoride (MgF_2) and so on are generally known. Quartz

and fluorite are optical vitreous materials indispensable for forming a projection optical system having high resolution in the range of far ultraviolet rays.

However, it is necessary to consider the fact that, if the numerical aperture (NA) of a projection optical system is increased to attain high resolution while the field size is increased, the diameter of lens elements made of quartz or fluorite becomes so large that it is difficult to manufacture such lens elements.

Also, if the numerical aperture (NA) of the projection optical system is increased, the depth of focus (DOF) ΔF is inevitably reduced. In general, the depth of focus ΔF is defined by wavelength, numerical aperture NA, a process coefficient Kf ($0 < Kf < 1$) as shown below if the Rayleigh's theory of imaging formation is applied:

$$\Delta F = Kf \cdot (\lambda / NA^2)$$

Accordingly, the depth of focus ΔF in the atmosphere (air) is about $0.240 \mu m$ if the wavelength is 193 nm , that is, equal to that of ArF excimer laser light, the numerical aperture NA is set to about 0.75 and the process coefficient Kf is 0.7 . In this case, the theoretical resolution (minimum line width) ΔR is expressed by the following equation using process coefficient Kr ($0 < Kr < 1$):

$$\Delta R = Kr \cdot (\lambda / NA)$$

Accordingly, under the above-mentioned conditions, the resolution ΔR is about $0.154 \mu m$ if the process coefficient Kr is 0.6 .

As described above, while it is necessary to increase the numerical aperture of the projection optical system in order to improve the resolution, it is important to notice that the depth of focus decreases abruptly if the numerical aperture is increased. If the depth of focus is small, there is a

need to improve the accuracy, reproducibility and stability with which an automatic focusing system for coincidence between the best imaging plane of the projection optical system and the resist layer surface on the wafer is controlled.

On the other hand, considering the projection optical system from the standpoint of design and manufacturing, a configuration is possible in which the numerical aperture is increased without increasing the field size. However, if the numerical aperture is set to a substantially larger value, the diameter of lens elements is so large that it is difficult to form and work the optical vitreous material (e.g. quartz and fluorite).

Then, as a means for improving the resolution without largely increasing the numerical aperture of the projection optical system, an immersion projection method may be used in which the space between the wafer and the projection optical system is filled with a liquid, see U.S. Patent 4,346,164 (to Tabarelli).

In this immersion projection method, the air space between the wafer and the optical element constituting the projection optical system on the projection end side (image plane side) is filled with a liquid having a refractive index close to the refractive index of the photoresist layer, to increase the effective numerical aperture of the projection optical system seen from the wafer side, i.e. improving the resolution. This immersion projection method is expected to attain good imaging performance by selecting the liquid used.

Projection aligners as presently known generally are provided with an automatic focusing (AF) system for precisely controlling the relative positions of the wafer and the projection optical system so that the wafer surface coincides with the optimum imaging plane (reticle conjugate plane) of the projection optical

system. This AF system includes a surface position detection sensor for detecting a change in the height position (Z-direction position) of the wafer surface in a non-contact manner, and a Z-adjustment mechanism for adjusting the spacing between the projection optical system and the wafer on the basis of the detected change.

Also in projection aligners presently used an optical type or air micrometer type sensor is used as the surface position detection sensor, and a holder (and a Z-stage) for supporting the wafer, provided as the Z-adjustment mechanism, is moved vertically to sub-micron accuracy.

If such an AF system is provided in an aligner to which the immersion projection method is applied, it is natural that an air micrometer type sensor cannot be used and an optical sensor is exclusively used since the wafer is held in a liquid. In such a case, an optical focus sensor, such as one disclosed in U.S. Patent 4,650,983 (to Suwa), for example, is constructed so that a measuring beam (an imaging beam of a slit image) is obliquely projected into the projection field on the wafer and so that the beam reflected by the wafer surface is received by a photoelectric detector through a light receiving slit. The change in the height position of the wafer surface, i.e., the amount of focus error, is detected from a change in the position of the reflected beam occurring at the light receiving slit.

If an oblique incident light type focus sensor such as the one disclosed in U.S. Patent 4,650,983 is directly mounted in a projection aligner in which the conventional projection optical system having a working distance of 10 to 20 mm is immersed in a liquid, a problem described below arises. In such a case, it is necessary to set in the liquid the optical system of

the projected beam emitted from a projecting objective lens of the focus sensor to reach the projection field of the projection optical system on the wafer and the optical system of the reflected beam reflected by the wafer to reach a light receiving objective lens.

Therefore, the beam of the focus sensor travels through a long distance in the liquid, so that unless the temperature distribution in the liquid is stabilized with high accuracy, the projected beam and the received beam fluctuate by a change in refractive index due to a temperature nonuniformity, resulting in deterioration in the accuracy of focus detection (detection of the height position of the wafer surface).

Moreover, to achieve a resolution of 0.15 μm or less by the immersion projection method, it is necessary to set the working distance of the projection optical system to a sufficiently small value, as mentioned above. Therefore, oblique projection itself of the projected beam of the oblique incident light type focus sensor from the space between the projection optical system and the wafer toward the projection area on the wafer becomes difficult to perform. For this reason, one important question arises as to how an automatic focusing system applicable to the immersion projection method is arranged.

On the other hand, aligners (exposure apparatus) having an unit magnification type (hereinafter described as "1X") projection optical systems are being used in the field of manufacturing liquid crystal display devices (flat panel displays) as well as in the field of manufacturing semiconductor devices. Recently, for this kind of aligner, a system has been proposed in which a plurality of 1X projection optical systems of a certain type are arranged and in which a mask and a photosensitive plate are moved integrally

with each other for scanning. It is desirable that, ideally, the working distance of the 1X projection optical systems used is extremely small. Each 1X projection optical system is of a single Dyson type such as that disclosed in U.S. Patent 4,391,494 (to Hershel) or a double Dyson type such as that disclosed in U.S. Patent 5,298,939 (to Swanson et al.).

In an aligner having such a Dyson type projection optical system, the working distance (spacing between the exit surface of a prism mirror and the image plane) can be sufficiently reduced to limit various aberrations or distortions of the projected image to such small values that there is practically no problem due to the aberrations or distortions. In this kind of aligner, therefore, a detection area on the photosensitive substrate of focus detection by the focus sensor (e.g., the irradiation position of the projected beam in the oblique incident light system or the air-exhaust position in the air micrometer system) is ordinarily set to a position deviating from the effective projection field region of the projection optical system, that is, set in an off-axis manner.

For this reason, it is impossible to actually detect whether the area of the substrate exposed to projected light from a circuit pattern is precisely adjusted in a best focus state or condition.

Also in apparatuses for writing a pattern on a substrate or to perform processing (or manufacturing) by using a spot of a laser beam or an electron beam, it is possible that the working distance between the substrate and the objective lens system (or an electronic lens system) for projecting the beam becomes so small that an AF sensor capable of detecting a focusing error of the processing position or the drawing position on the substrate surface in the field of the objective optical system cannot be mounted.

In such a case, the detection point of the AF sensor is only placed outside the field of the objective lens system to detect a focusing error, and it does not detect whether a focusing error occurs actually at the processing position or writing position in the field of the objective lens system.

The same can also be said with respect to an apparatus for optically inspecting a pattern drawn on a reticle or mask for photolithography or a fine pattern formed on a wafer. That is, this is because this kind of inspection apparatus is also provided with an objective lens system for inspection and because the end of the objective lens system faces a surface of a specimen (a plate) to be inspected while being spaced apart from same by a predetermined working distance.

Thus, if an objective lens system having a comparatively large magnifying power and high resolution is used, the working distance is so small that the same problem relating to the disposition of the AF sensor is encountered.

SUMMARY OF THE INVENTION

In view of the above-described problems of the related art, the present invention provides a projection aligner (exposure apparatus) and an exposure method which enable high-precision focusing control and high-precision tilt control even if a projection optical system to reduce the working distance in comparison with the conventional projection optical system is incorporated.

The invention is directed to a step-and-repeat aligner in which a surface of a sensitive substrate is exposed to a pattern image projected through an imaging system or a scanning exposure apparatus (scanning aligner) in which a mask (or a reticle) and a sensitive substrate are moved relative to an imaging system while

a pattern image is being projected, and to a system suitable for detecting a focal point and a tilt in these kinds of exposure apparatus (aligners).

In the present exposure apparatus and method, focusing control and tilt control are performed with respect to a shot area at a peripheral position on a sensitive substrate.

The present scanning exposure apparatus and scanning exposure method enable high-precision focusing control and high-precision tilt control with respect to an exposed area of a sensitive substrate, without setting a focus detection area in the projection field of a projection optical system.

The present focus sensor and focus detection method stably detect an error in focusing or tilting of a surface of a sensitive substrate immersed in a liquid in an immersion type projection aligner or scanning aligner designed to improve the depth of focus. The present focus sensor and focus detection method are suitable for a manufacturing (processing) apparatus, a drawing apparatus or an inspection apparatus having an objective optical system of a small working distance.

The present invention is applicable to a scanning exposure apparatus having an imaging system (a projection lens system) for projecting an image of a pattern of a mask (a reticle) on a substrate (a wafer) through an imaging field, a scanning mechanism (a reticle stage or wafer XY stage) for moving the mask and the substrate in a scanning direction relative to the imaging system, and a Z-drive system (a Z stage and Z-actuators) for driving the substrate and the imaging system relative to each other in a Z-direction to focus the projected image, or to a projection aligner (i.e., stepper) having an imaging system for projecting an image of a pattern of a mask on a substrate through a projection field, a movable stage mechanism which moves

in X and Y directions in order to position the substrate with respect to the image of the pattern to be projected, and a Z-drive mechanism for driving the substrate and the imaging system relative to each other in a Z-direction to focus the image to be projected.

The scanning mechanism or the movable stage mechanism of the exposure apparatus or aligner may be a mechanism for horizontally maintaining a mask or substrate. Alternatively, it may be a mechanism for maintaining a mask or substrate at a certain angle from a horizontal plane, for example, a vertical stage mechanism for moving a mask or substrate in a horizontal or vertical direction while maintaining the mask or substrate in a vertical attitude. In this case, a plane along which the mask or substrate is moved corresponds to X- and Y-directions, and Z-direction, perpendicular to each of X- and Y-directions, is also referred to (for example, in correspondence with the direction of the optical axis of a laterally-arranged projection optical system or the direction of principal rays).

According to the present invention, the aligner is provided with a first detection system having a detection area at a first position located outside the imaging field of the imaging system and spaced apart from same in the scanning direction (Y-direction), the first detection system detecting the position of an obverse (upper) surface of the substrate in the Z-direction, a second detection system having a detection area at a second position located outside the imaging field of the imaging system and spaced apart from the first position in a direction ^(perpendicular to) ~~(X)~~ the scanning direction (Y), the second detection system detecting the position of the obverse surface of the substrate in the Z-direction, a third detection system having a detection area at a third position located outside the

imaging field of the imaging system, spaced apart from the same in a direction (X) perpendicular to the scanning direction (Y) and also spaced apart from the second position in the scanning direction (Y), and the third detection system detecting the position of the obverse surface of the substrate in the Z-direction.

According to the present invention, the aligner is further provided with a calculator for calculating a deviation between the first Z-position detected by the first detection system and a target Z-position, and for temporarily storing the second Z-position detected by the second detection system at the time of detection made by the first detection system, and a controller for controlling the Z-drive system on the basis of the calculated deviation the stored second Z-position and the third Z-position detected by the third detection system when the area on the substrate corresponding to the detection area of the first detection system is positioned in the imaging field of the imaging system by a movement caused by the scanning mechanism or the movable stage mechanism.

The present invention is applicable to a scanning exposure method in which all of a pattern of a mask (a reticle) is transferred onto a sensitive substrate (a wafer) by projecting a part of the mask pattern on the sensitive substrate through a projection optical system and by simultaneously moving the mask and the sensitive substrate relative to a projection field of the projection optical system.

The present method includes the steps of mounting the sensitive substrate on a holder having an auxiliary plate portion formed so as to surround the sensitive substrate at a height substantially equal to the height of an obverse surface of the sensitive substrate, previously reading a focus error of an exposure area on the sensitive substrate on which area a part of the

pattern of the mask is to be projected, the focus error of the exposure area being read before the exposure area reaches the projection field of the projection optical system during scanning movement of the holder and the sensitive substrate, detecting a focus error of the obverse surface of a part of the sensitive substrate or the auxiliary plate portion by an exposure position focus detection system disposed apart from the projection field of the projection optical system in a direction (X) perpendicular to the direction (Y) of the scanning movement when the exposure area on the sensitive substrate reaches the projection field, adjusting the distance between the projection optical system and the sensitive substrate on the basis of the detected focus errors so that the focus error of the exposure area on the sensitive substrate is corrected in the projection field of the projection optical system.

A focus detection sensor or a focus detection method suitable for manufacturing (processing) apparatuses, imaging apparatuses and inspection apparatuses is achieved similarly by replacing the projecting optical system used for the above-described exposure apparatus (aligner) or the exposure method with an objective optical system for manufacturing, writing, imaging or inspection.

DETAILED DESCRIPTION

Fig. 1 shows the entire construction of a projection exposure apparatus in a first embodiment of the present invention, and which is a lens-scan type projection aligner in which a circuit pattern on a reticle is projected onto a semiconductor wafer through a reduction projection lens system having circular image fields telecentrically formed on the object side and the image side while the reticle and the wafer are being moved relative to the projection lens system to be scanned.

An illumination system shown in Fig. 1 includes an ArF excimer laser light source for emitting pulse light having a wavelength of 193 nm, a beam expander for shaping a cross section of the pulse light from the light source into a predetermined shape, an optical integrator such as a fly's-eye lens for forming a secondary light source image (a set of a plurality of point light sources) by receiving the shaped pulse light, a condenser lens system for condensing the pulse light from the secondary light source image into pulse illumination light having a uniform illuminance distribution, a reticle blind (illumination field stop) for shaping the pulse illumination light into a

rectangular shape elongated in a direction perpendicular to the scanning direction at the time of scanning exposure, and a relay optical system for imaging the rectangular opening of the reticle blind on a reticle R in cooperation with a mirror 11 and a condenser lens system 12 shown in Fig. 1.

The reticle R is supported on a reticle stage 14 by vacuum suction attraction. The reticle stage 14 can move at a constant speed in one dimension with a large stroke during scanning exposure. The reticle stage 14 is guided on a column structure 13 of an aligner body laterally as viewed in Fig. 1 to move for scanning. The reticle stage 14 is also guided so as to move in a direction perpendicular to the plane of the figure.

The coordinate position and the fine rotational deviation of the reticle stage 14 in an XY-plane are successively measured by a laser interferometer system (IFM) 17 which projects a laser beam onto a moving mirror (plane mirror or corner mirror) 16 attached to a portion of the reticle stage 14 and which receives the beam reflected by the mirror 16. A reticle stage controller 20 controls motors 15 (such as a linear motor or a voice coil) for driving the reticle stage 14 on the basis of the XY-coordinate position measured by the interferometer system 17, thereby controlling the scanning movement and the stepping movement of the reticle stage 14.

When a part of a circuit pattern area on the reticle R is irradiated with rectangular shaped pulse of light emitted from the condenser lens system 12, an imaging light beam from the pattern in the illuminated part is projected and imaged on a sensitive resist layer applied on the upper (principal) surface of a wafer W through a 1/4 reduction projection lens system PL. The optical axis AX of the projection lens system PL is placed so as to extend through center points of

the circular image fields and to be coaxial with the optical axes of the illumination system 10 and the condenser lens system 12.

The projection lens system PL includes a plurality of lens elements made e.g. of two different materials, such as quartz and fluorite having high transmittance with respect to ultra- violet rays having a wavelength of 193 nm. Fluorite is used mainly to form lens elements having a positive power. The air in the lens barrel in which the lens elements of the projection lens system PL are fixed is replaced with nitrogen gas so as to avoid absorption of the pulse illumination light having a wavelength of 193 nm by oxygen. Similar nitrogen gas replacement is performed with respect to the optical path from the interior of the illumination system 10 to the condenser optical system 12.

The wafer W is held on a wafer holder (chuck) WH which attracts the reverse (backside) surface of the wafer by vacuum suction. An annular auxiliary plate portion HRS is provided on a peripheral portion of the wafer holder WH so as to surround the circumference of the wafer W. The height of the surface of the auxiliary plate portion HRS is so as to be substantially flush with the upper surface of the wafer W attracted to the upper surface of the holder WH. This auxiliary plate portion HRS is used as an alternative focus detection surface if a detection point of a focus sensor is positioned outside the contour edge of the wafer W when a shot area at a peripheral position on the wafer W is scanned and exposed, as described below in detail.

Further, the auxiliary plate portion HRS can also serve as a flat reference plate (fiducial plate) for calibration of a system offset of the focus sensor in the same manner as disclosed in U.S. Patent 4,650,983 (to Suwa) mentioned above. Needless to say, a special

reference plate may be separately provided for calibration of the focus sensor.

The wafer holder WH is mounted on a ZL stage 30 which can translate in the Z-direction along the optical axis AX of the projection lens PL, and which can move in a direction perpendicular to the optical axis AX while tilting with respect to an XY-plane. The ZL stage 30 is mounted on an XY stage 34 through three Z-actuators 32A, 32B, and 32C. The XY stage 34 is movable two dimensionally in X- and Y-directions on a base. Each of the Z-actuators 32A, 32B, and 32C is e.g. a piezoelectric expansion element, a voice coil motor, or a combination of a DC motor and a lift cam mechanism.

If the three Z-actuators (or Z-drive motors) are each driven in the Z-direction to the same amount, the ZL stage 30 moves translationally in the Z-direction (focusing direction) while being maintained parallel to the XY stage 34. If the three Z-actuators are each driven in the Z-direction different amounts, an amount and a direction of the tilting of the ZL stage 30 is thereby adjusted.

The two-dimensional movement of the XY stage 34 is caused by several drive motors 36 which are e.g. a DC motor for rotating a feed screw or a linear motor or the like capable of producing a driving force in a non-contact manner. The drive motors 36 are controlled by a wafer stage controller 35 which is supplied with a measuring coordinate position from a laser interferometer (IFM) 33 for measuring changes in the position of a reflecting surface of a moving mirror 31 in the X- and Y-directions.

For example, the entire construction of the XY stage 34 using a linear motor as drive motor 36 may be as disclosed in Japanese Laid-Open Patent Application No. (Sho) 61-209831 (Tateishi Electronics Co.) laid open

on September 18, 1986.

With respect to this embodiment, it is assumed here that the working distance of the projection lens PL is so small that a projected beam of an oblique incident light type focus sensor cannot be led to the wafer surface through the space between the surface of the optical element of the projection lens system PL closest to the image plane and the upper surface of the wafer W. In this embodiment, therefore, three focus detection systems GDL, GDC, and GDR of an off-axis type (having a focus detection point out of the projection field of the projection lens PL) are disposed around a lower end portion of the barrel of the projection lens PL.

Of these focus detection systems, the detection systems GDL and GDR are set so as to have focus detection points positioned on the front and rear sides of the projection field with respect to the direction of scanning movement of the wafer W at the time of scanning exposure. When one shot area on the wafer W is scanned and exposed, one of the detection systems GDL and GDR selected according to the direction of scanning movement (plus direction or minus direction) is operated so as to previously read the change in the surface height position in the shot area before exposure of the wafer to the rectangular projected image.

Accordingly, the focus detection systems GDL and GDR function, for example, as the same pre-read sensors as those of a focus detection system disclosed in U.S. Patent 5,448,332 (to Sakakibara et al.). In this embodiment, however, a focus adjustment (or tilt adjustment) sequence different from that of U.S. Patent 5,448,332 is used and a special focus detection system is therefore added to the focus detection systems GDL and GDR. This arrangement is described below in more

detail.

The focus detection system GDC shown in Fig. 1 has a detection point in a non-scanning direction perpendicular to the scanning direction of the projection field of the projection lens PL as seen on the surface of the wafer W (i.e., in an XY plane) in accordance with the off-axis method. However, the focus detection system GDC has another detection point on the back side of the projection lens PL as viewed in Fig. 1 in addition to its detection point on the front side.

The focus detection method in accordance with the present invention is characterized in that the off-axis focus detection system GDC and one of the pre-reading focus detection systems GDL and GDR are operated in cooperation with each other. Details of these focus detection systems are described below.

Information on the height position of a portion of the wafer surface detected by each of the above-described focus detection systems GDL, GDR, and GDC (e.g., an error signal or the like representing the amount of deviation from the best focus position) is input to an automatic focusing (AF) control unit 38. The AF control unit 38 determines an optimal amount of driving of each of the Z-drive motors 32A, 32B, and 32C on the basis of the detection information supplied from the detection systems, and drives the Z-drive motors 32A, 32B, and 32C to perform focusing and tilt adjustment with respect to the area of the wafer W on which the projected image is to be actually imaged.

For this control, each of the focus detection systems GDL and GDR is a multi-point focus sensor having detection points at a plurality of positions (e.g., at least two positions) in the rectangular projection area on the wafer W formed by the projection lens PL, and the AF control unit 38 is capable of tilt

adjustment of the wafer W at least in the non-scanning direction (X-direction) as well as focusing.

The aligner shown in Fig. 1 is arranged to perform scanning exposure by moving the XY stage 34 at a constant speed in the Y-direction. The relation of the scanning movement and the stepping movement of the reticle R and the wafer W during scanning exposure will now be described with reference to Fig. 2.

Referring to Fig. 2, a fore-group lens system LGa and a rear-group lens system LGb represent the projection lens system PL shown in Fig. 1, and an exit pupil Ep exists between the fore-group lens system LGa and the rear-group lens system LGb. On the reticle R shown in Fig. 2, a circuit pattern area Pa having a diagonal length larger than the diameter of the circular image field on the object side of the projection lens PL is formed in a frame defined by a shield band SB.

To the image of the area Pa of the reticle R, a corresponding shot area SAa on the wafer W is exposed in a scanning manner by moving the reticle R at a constant speed Vr in the minus direction along the Y-axis while moving the wafer W at a constant speed Vw in the plus direction along the Y-axis, for example. At this time, the shape of pulse illumination light IA for illuminating the reticle R is set in the form of a parallel strip or a rectangle elongated in the X-direction in the area Pa of the reticle, as shown in Fig. 2. The ends of the shape of pulse illumination light IA opposite from each other in the X-direction are positioned on the shield band SB.

A partial pattern contained in the rectangular area in the area Pa of the reticle R irradiated with the pulse illumination light IA is imaged as an image SI at the corresponding position in the shot area SAa on the wafer W by the projection lens system PL (lens

systems LGa and LGb). When the relative scanning of the pattern area Pa on the reticle R and the shot area SAa on the wafer W is completed, the wafer W is moved one step, for example, to a certain distance in the Y-direction such that the scanning start position is set with respect to a shot area SAb adjacent to the shot area SAa. During this stepping movement, the illumination with pulse illumination light IA is stopped.

Next, in order to expose the shot area SAb on the wafer W to the image of the pattern in the area Pa of the reticle R in a scanning manner, the reticle R is moved at the constant speed Vr in the plus direction of the Y-axis relative to pulse illumination light IA and the wafer W is simultaneously moved at the constant speed Vw in the minus direction of the Y-axis relative to the projected image SI. The speed ratio Vw/Vr is set to the reduction ratio 1/4 of the projection lens system PL. In accordance with the above-described schedule, a plurality of shot areas on the wafer W are exposed to the image of the circuit pattern area Pa of the reticle R.

The projection aligner shown in Figs. 1 and 2 can be used as a step-and-repeat aligner in such a manner that, if the diagonal length of ~~the~~ the circuit pattern area on the reticle R is smaller than the diameter of the circuit image field of the projection lens system PL, the shape and size of the opening of the reticle blind in the illumination system 10 are changed so that the shape of illumination light IA conforms to the circuit pattern area. In such a case, the reticle stage 14 and the XY stage 34 are maintained in a relatively-stationary state during exposure of each of shot areas on the wafer W.

However, if the wafer W moves slightly during exposure, the slight movement of the wafer W may be

measured by the laser interferometer system 33 and the reticle stage 14 may be slightly moved under control so that the corresponding small error in the position of the wafer W relative to the projection lens system PL is canceled by follow-up correction on the reticle R side. For example, systems for such reticle follow-up correction are disclosed in Japanese Laid-Open Patent Application Nos. (Hei)6-204115 and (Hei)7-220998. Techniques disclosed in these publications may be used according to one's need.

If the shape or size of the opening of the reticle blind is changed, a zoom lens system may be provided to enable the pulse light reaching the reticle blind from the light source to be concentrated within the range matching with the adjusted opening according to the change in the shape or size of the opening.

Since the area of the projected image SI is set in the form of a strip or a rectangle elongated in the X-direction as clearly seen in Fig. 2, tilt adjustment during scanning exposure may be effected only along the direction of rotation about the Y-axis, that is, the rolling direction with respect to the scanning exposure direction in this embodiment. Needless to say, if the width of the projected image SI area in the scanning direction is so large that there is a need to consider the influence of flatness of the wafer surface with respect to the scanning direction, tilt adjustment in the pitching direction is performed during scanning exposure. This operation will be described in more detail with respect to another embodiment of the invention.

The focus detection systems GDL, GDR, and GDC shown in Fig. 1 are disposed as illustrated in Fig. 3, for example. Fig. 3 is a perspective view showing the disposition of detection points of the focus detection systems on the plane on which the circular image field

CP of the projection lens PL on the image side is formed. Fig. 3 shows only the disposition of the focus detection systems GDL and GDC. The focus detection system GDR is omitted since it has the same configuration as the detection system GDL.

Referring to Fig. 3, the focus detection system GDC has two detectors GDC1 and GDC2 which are set so that detection points (detection areas) FC1 and FC2 are positioned on an extension line LLc of the axis of the strip-like of rectangular projected image SI extending in the circular field CP of the projection lens PL in a diametrical direction (X- direction). These detectors GDC1 and GDC2 detect the height position of the upper surface of the wafer W (or auxiliary plate portion HRS) or a positioning error amount in the Z-direction with respect to the best focus plane position.

On the other hand, the focus detection system GDL includes in the embodiment five detectors GDA1, GDA2, GDB1, GDB2, and GDB3 having respective detection points (detection areas) FA1, FA2, FB1, FB2, and FB3 positioned on a straight line LLa parallel to the extension line LLc. Each of these five detectors independently detects the height position of a point on the upper surface of the wafer W (or auxiliary plate portion HRS) or a positioning error amount in the Z-direction with respect to the best focus plane position.

The extension line LLc and the straight line LLa are set at a certain distance from each other in the scanning direction (Y-direction). Also, the detection point FA1 of the detector GDA1 and the detection point FC1 of the detector GDC1 are set at substantially the same coordinate positions in the X-direction while the detection point FA2 of the detector GDA2 and the detection point FC2 of the detector GDC2 are set at substantially the same coordinate positions in the X-

direction.

The detection points FB1, FB2, and FB3 of three detectors GDB1, GDB2, and GDB3 are disposed so as to cover the area of the strip-like or rectangular projected image SI in the X-direction. That is, the detection point FB2 is disposed at a X-coordinate position corresponding to the center (the point at which the optical axis AX passes) of the area of the projected image SI in the X-direction while the detection points FB1 and FB3 are disposed at X-coordinate positions corresponding to positions in the vicinity of the opposite ends of the projected image SI area in the X-direction. Therefore, the three detection points FB1, FB2, and FB3 are used for focus error pre-reading of the surface portion of the wafer W corresponding to the projected image SI area.

The focus detection system GDR, not shown in Fig. 3, also has three pre-reading detectors GDE1, GDE2, GDE3 and other two detectors FDD1 and GDD2 disposed opposite sides of these pre-reading detectors in the X-direction. For ease of explanation, with respect to this embodiment, it is assumed that the planes recognized as best focus positions by the twelve detectors GDA1, GDA2; GDB1, GDB2, GDB3; GDC1, GDC2; GDD1, GDD2; GDE1, GDE2, GDE3 are adjusted to one XY-plane. That is, no system offset is provided between the twelve detectors and it is assumed that the surface height positions of the wafer W detected at the twelve detection points FA1, FA2; FB1, FB2, FB3; FC1, FC2; FD1, FD2; FE1, FE2, FE3 as positions at which the detected focus error becomes zero coincide closely with each other.

For the above-described twelve focus detectors, optical sensors, air micrometer type sensors, electrostatic capacity type gap sensors or the like can be used if the end of the projection lens PL is not

immersed in a liquid. However, if an immersion projection system is formed, it is, of course, impossible to use air micrometer type sensors.

Fig. 4 is a block diagram of an example of the AF control unit 38 for processing detection signals (error signals) from the focus detection systems GDL, GDR, and GDC shown in Figs. 1 and 3. As shown in Fig. 4, one of the group of detection signals from the five detectors GDA1, GDA2, GDB1, GDB2, and GDB3 of the pre-reading focus detection systems GDL and the group of detection signals from the five detectors GDD1, GDD2, GDE1, GDE2, and GDE3 of the focus detection systems GDR are selected by a changeover circuit 50 to be supplied to subsequent processing circuits.

The changeover circuit 50 selects the signals from one of the focus detection systems GDL and GDR in response to a changeover signal SS1 (representing a direction discrimination result) supplied from a position monitor circuit 52 which discriminates one scanning movement direction of the wafer stage 34 from the other on the basis of stage control information from the wafer stage controller 35, and which monitors changes in the moved position of the wafer W from the pre-read position to the exposure position. In the state shown in Fig. 4, the changeover circuit 50 is selecting the five detection signals from the focus detection system GDL.

The detection signals from the pre-reading detectors GDB1, GDB2, and GDB3 with respect to the exposure area (projected image SI) are supplied to a first calculator 54 for calculating a focus error amount and a tilt error amount. The calculator 54 supplies a second calculation and memory circuit 56 with error data DT1 and DT2 on focus error amount ΔZ_f and tilt error amount ΔT_x (fine inclination about the Y-axis) of the surface area of the wafer W previously

read at the three detection points FB1, FB2, and FB3.

On the other hand, the detectors GDA1 and GDA2 supplies the second calculation and memory circuit 56 with information ZA1 and information ZA2 representing the surface height positions (or focus deviations) at the detection points FA1 and FA2 simultaneously with the detection of the wafer surface by the three detectors GDB1, GDB2, and GDB3.

The second calculation and memory circuit 56 calculates, on the basis of error data DT1, DT2, information ZA1, ZA2 and the relative positional relationship between the detectors, target values $\Delta Z1$ and $\Delta Z2$ of the height position of the wafer W which should be detected at the detection points FC1 and FC2 of the detectors GDC1 and GDC2 set at the projection exposure position with respect to the Y-direction (scanning direction). The second calculation and memory circuit 56 temporarily stores the calculated target values $\Delta Z1$ and $\Delta Z2$.

The meaning of the target values $\Delta Z1$ and $\Delta Z2$ is that, if information ZC1 and information ZC2 detected by the detectors GDC1 and GDC2 when the surface portions of the wafer W (or auxiliary plate portion HRS) previously read at the pre-reading detection points FA1 and FA2 reach the detection points FC1 and FC2 corresponding to the exposure position are equal to the target values $\Delta Z1$ and $\Delta Z2$, respectively, both the focus error amount ΔZf and tilt error amount ΔTx determined by pre-reading become zero at the exposure position.

Further, the second calculation and memory circuit 56 outputs the stored target values $\Delta Z1$ and $\Delta Z2$ to a third calculation and drive circuit 58 immediately before the pre-read area on the wafer with respect to the Y-direction arrives at the exposure position at which the projected image SI is exposed.

Accordingly, in synchronization with a signal SS2 output from the position monitor circuit 52, the second calculation and memory circuit 56 outputs signals representing target values $\Delta Z1$ and $\Delta Z2$ temporarily stored to the third calculation and drive circuit 58 after delaying the signals by an amount of time determined by the distance between the straight line LLa and the extension line LLc in the Y-direction and the speed of movement of the wafer W.

If signal SS2 is output each time the wafer W is moved to be scanned through a distance corresponding to the width of the projected image SI in the scanning direction, a certain number of sets of target values $\Delta Z1$ and $\Delta Z2$ (e.g., five sets) corresponding to a number obtained by dividing the distance between the straight line LLa and the extension line LLc in the Y-direction (e.g., about 40 mm) shown in Fig. 3 by the width of the projected image SI (e.g., about 8 mm) are temporarily stored in the second calculation and memory circuit 56. Accordingly, the second calculation and memory circuit 56 functions as a memory for storing target values $\Delta Z1$ and $\Delta Z2$ in a first in-first out (FIFO) manner.

The third calculation and drive circuit 58 reads, in response to a signal SS3 from the position monitor circuit 52, detection information ZC1 and ZC2 on the height position of the surface of the wafer W (or auxiliary plate portion HRS) detected by the detectors GDC1 and GDC2 immediately before the area on the wafer W detected at the pre-read position reaches the exposure position (the position of the projected image SI).

Simultaneously, the third calculation and drive circuit 58 reads the data of target values $\Delta Z1$ and $\Delta Z2$ (corresponding to the exposure position) output from the second calculation and memory circuit 56.

determines, by calculation, drive amounts (amounts of position adjustment or amounts of speed adjustment) corresponding to the Z-drive motors 32A, 32B, and 32C shown in Fig. 1 on the basis of information ZC1 and ZC2 and target values $\Delta Z1$ and $\Delta Z2$, and outputs determined drive amount data to the Z-drive motors 32A, 32B, and 32C.

It is to be understood that most of the element of Fig. 4 may be embodied in a programmed microcontroller or microprocessor, executing a suitable program which could be written by one of ordinary skill in the art in light of Fig. 4.

Fig. 5 is a plan view explaining the function of the auxiliary plate portion HRS formed at the peripheral portion of the wafer holder WH as shown in Fig. 1. In this embodiment, since all the detection points of the focus detection systems are positioned outside the projection field CP of the projection lens PL as described above, there is a possibility of some of the focus detection points being located outside the perimeter of wafer W at the time of scanning exposure of some of a plurality of shot areas SAn on the wafer arranged at the peripheral portion of the wafer W.

For example, as shown in Fig. 5, when a peripheral shot area SA1 of the wafer W positioned on the holder WH by using a prealignment notch NT is scanned and exposed, the end focus detection point FA1 (or FD1) of the pre-reading focus detection system GDL (or GDR) and the detection point FC1 of the exposure position focus detection system GDC are located outside the wafer W. In this state, it is difficult to normally perform focusing and tilt adjustment.

A main function of the auxiliary plate portion HRS is enabling normal focusing and tiling in such a situation. As shown in Fig. 5, the detection point FA1 (or FD1) and the detection point FC1 located outside

the of the wafer W are set so as to be positioned on the surface of the auxiliary plate portion HRS. Accordingly, it is desirable that the height of the surface of the auxiliary plate portion HRS is substantially equal to that of the surface of the wafer W.

More specifically, the surface of the wafer W and the surface of the auxiliary plate portion HRS are made flush with each other within the detection ranges which correspond to the detection points FA1 (FA2), FC1 (FC2), and FD1 (FD2) and in which the desired linearity of the focus detectors corresponding to the detection points are ensured. Further, since the surface of the auxiliary plate portion HRS is used as an alternative to the surface of the wafer W, its reflectivity is set on the same order or to the same value as the reflectivity of a standard (silicon) wafer. For example, a mirror-finished surface is preferred as the auxiliary plate portion HRS.

If the wafer W (on wafer holder WH) is moved to be scanned in the direction of the arrow shown in Fig. 5, the detection points FA1, FA2; FB1, FB2, FB3 of the focus detection system GDL are selected as pre-reading sensors with respect to the shot area SA1. In this event, if the distance between the extension line ^{LLc} ~~LLc~~ corresponding to the center of the projected image SI in the Y-direction and the straight line LLa on which the detection points of the focus detection system GDL are disposed is ^{DLa} ~~DLa~~ and if the distance between the extension line LLC and the straight line LLb on which the detection points of the other focus detection system GDR are disposed is DLb, DLa and DLb are set so that DLa is approximately equal to DLb in this embodiment. From the speed Vw of the wafer W at the time of scanning exposure, the delay time Δt taken for the focus pre-read position on the wafer W to reach the

exposure position is $\Delta t = DLa/Vw$ (sec.). Accordingly, the time for temporary storage of target value data $\Delta Z1$ and $\Delta Z2$ in the second calculation and memory circuit 56 shown in Fig. 4 is substantially equal to the time lag Δt .

However, the distance DLa and the distance DLb may be selected so that DLa does not equal DLb according to a restriction relating the construction of the aligner. Needless to say, in such a case, the delay time of supply of the target values $\Delta Z1$ and $\Delta Z2$ are set to different lengths with respect to use of the pre-reading focus detection system GDL and use of the focus detection system GDR.

The focusing and tilting operations of the first embodiment arranged as described above is now described with reference to Figs. 6A through 6D. Fig. 6A schematically shows a state of the upper surfaces of the wafer W and the auxiliary plate portion HRS detected by the pre-reading focus detection system GDL at an instant during scanning exposure of the peripheral shot area SA1 of the wafer W as shown in Fig. 5.

In Figs. 6A through 6D, a horizontal line BFP represents the optimum focus plane of the projection lens PL. The detector GDB1 that detects the position of the wafer surface in the Z-direction at the focus detection point FB1 in the shot area SA1 outputs a detection signal representing $\Delta ZB1$ as a Z-position error (amount of defocusing) of the wafer surface with respect to the plane BFP. Similarly, the detectors GDB2 and GDB3 that detect errors of the position of the wafer surface in the Z-direction at the focus detection points FB2 and FB3 output detection signals representing errors $\Delta ZB2$ and $\Delta ZB3$. Each of these Z-position errors has a negative value if the wafer surface is lower than the best focus plane BFP, or has

a positive value if the wafer surface is higher than the best focus plane BFP.

The values of these errors $\Delta ZB1$, $\Delta ZB2$, and $\Delta ZB3$ are input to the first calculation and memory circuit 54 shown in Fig. 4. The first calculation and memory circuit 54 determines parameters of an equation representing an approximate plane APP (actually an approximate straight line) shown in Fig. 6B of the entirety of the pre-read portion in the shot area SA1 by the method of least squares or the like on the basis of these error values. The parameters thereby determined are focus error amount ΔZf and tilt error amount ΔTx of the approximate plane APP, as shown in Fig. 6B. The values of error amount ΔZf and amount ΔTx thus calculated are output as data DT1 and DT2 to the second calculation and memory circuit 56. In this embodiment, the focus error amount ΔZf is calculated as an error substantially at the middle point (corresponding to detection point FB2) of the shot area SA1 in the X-direction.

When the detectors GDB1, GDB2, and GDB3 detect Z-position errors as described above, the detectors GDA1 and GDA2 simultaneously detect Z-position errors $\Delta ZA1$ and $\Delta ZA2$ of the wafer surface or the surface of the auxiliary plate portion HRS with respect to the best focus plane at the detection points FA1 and FA2. These errors $\Delta ZA1$, $\Delta ZA2$ are temporarily stored in the second calculation and memory circuit 56.

Immediately after this detection and storage, assuming that the approximate plane APP such as that shown in Fig. 6B is corrected so as to coincide with the best focus plane BFP as shown in Fig. 6C, that is, the wafer holder WH is adjusted in the Z-direction and the tilting direction so that $\Delta Zf = 0$ and $\Delta Tx = 0$, the second calculation and memory circuit 56 calculates the Z-position target value $\Delta Z1$ to be detected at the

detection point FA1 and the Z-position target value $\Delta Z2$ to be detected at the detection point FA2 on the basis of data DT1 and DT2 (error amount ΔZf and ΔTx), Z-position errors $\Delta ZA1$, $\Delta ZA2$ actually measured at the detection points FA1 and FA2 and the distance DS between the middle point of the shot area and each of the detection points FA1 and FA2 in the X-direction. The calculated Z-position target values $\Delta Z1$ and $\Delta Z2$ are temporarily stored in the second calculation and memory circuit 56 until the pre-read area on the wafer W reaches the area of the projected image SI (exposure position).

When the pre-read area on the wafer W reaches the exposure position, the third calculation and drive circuit 58 shown in Fig. 4 reads the detection signals from the focus detectors GDC1 and GDC2 for detecting Z-position errors at the detection points FC1 and FC2. If, for example, the pre-read area on the wafer W is in a state such as shown in Fig. 6D immediately before it reaches the exposure position, the detector GDC1 outputs detection signal ZC1 representing a Z-position error at the detection point FC1 while the detector GDC2 outputs detection signal ZC2 representing a Z-position error at the detection point FC2.

Then the third calculation and drive circuit 58 calculates the drive amounts for the three Z-actuators 32A, 32B, and 32C necessary for tilting the wafer holder WH and/or translating the wafer holder WH in the Z-direction so that the values of detection signals ZC1 and ZC2 supplied from the detectors GDC1 and GDC2 become respectively equal to the Z-position target values $\Delta Z1$ and $\Delta Z2$ which are supplied from the second calculation and memory circuit 56 by being delayed. The third calculation and drive circuit 58 supplies the Z-actuators 32A, 32B, 32C with signals corresponding to the calculated drive amounts.

The shot area SA1 of the upper surface of wafer W is thereby precisely adjusted to coincide with the best focus plane BFP at the exposure position. As a result, the projected image SI of the pattern of the reticle R to be maintained in an optimal imaged state is exposed in the scanning mode of the shot area.

For this operation in the first embodiment, each detector in the pre-reading focus detection system GDL and each detector in the exposure position focus detection system GDC are set (calibrated) so as to output a detection signal indicating that there is no focus error when the surfaces of the wafer W or the auxiliary plate portion HRS coincide with the best focus plane BFP. However, it is difficult to strictly set the detectors in such a state. In particular, a detection offset between the detectors GDA1 and GDA2 (GDD1 and GDD2) in the pre-reading focus detection system GDL (GDR) and the exposure position focus detectors GDC1 and GDC2 steadily defocuses the pattern image formed on the wafer W for exposure.

Therefore, an offset value between the height position in the Z-direction at which the detector GDC1 detects the zero focus error and the height position in the Z-direction at which the detector GDA1 (GDD1) detects the zero focus error may be measured and stored by simultaneously performing focus detection by these detectors on the extremely high flatness surface of a reflective glass plate (or fiducial plate) provided on the wafer holder WH. This surface may be structure HRS or another structure separate from structure HRS. As a result, the correction by the stored offset value may be made when the Z-actuators 32A, 32B, and 32C are drive on the basis of the Z-position errors detected by the exposure position focus detectors GDC1 and GDC2.

The construction of a focus and tilt sensor in accordance with a second embodiment of the present

invention is next described with reference to Figs. 7A⁷ and 7B⁸. With respect to the second embodiment, a situation is supposed in which the projected image SI contained in the circular field of the projection lens PL has a comparatively large maximum width in the Y-direction (scanning direction) such that the influence of a tilt of the surface of wafer W in the Y-direction, i.e., pitching, is considerable.

As shown in Fig. 7A⁷, an exposure position focus detector GDC1 (not illustrated) is provided which has two detection points FC1a and FC1b disposed symmetrically about extension line LLC in the Y-direction above the projected image SI, and another exposure position focus detector GDC2 (not illustrated) is provided which has two detection points FC2a and FC2b disposed symmetrically about extension line LLC in the Y-direction below the projected image SI. Further, a pre-reading focus detector GDA1 having two detection points FA1a and FA1b disposed symmetrically about straight line LLa in the Y-direction and a pre-reading focus detector GDA2 (not illustrated) having two detection points FA2a and FA2b disposed symmetrically about straight line LLa in the Y-direction are provided. Similarly, a pre-reading focus detector GDD1 (not illustrated) having two detection points FD1a and FD1b disposed symmetrically about straight line LLb in the Y-direction and a pre-reading focus detector GDD2 having two detection points FD2a and FD2b disposed symmetrically about straight line LLb in the Y-direction are provided.

Pre-reading focus detectors GDBn ($n = 1, 2, 3$) (not illustrated) having pairs of detection points FB1a, FB1b; FB2a, FB2b; FB3a, FB3b, and pre-reading focus detectors GDEn ($n = 1, 2, 3$) (not illustrated) having pairs of detection points FE1a, FE1b; FE2a, FE2b; FE3a, FE3b are also provided. Each pair of

detection points are spaced apart from each other in the Y-direction.

The focus detection system shown in Fig. 4⁷/₂ reproduces adjustment amounts (i.e., target values $\Delta Z1$ and $\Delta Z2$) necessary for correcting the pre-read surface configuration (i.e., error amount ΔZf and ΔTx) of each shot area at the detection points of the off-axis detectors GDC1 and GDC2 in the same manner as the above-described first embodiment, thereby enabling focus adjustment in the Z-direction and tilt adjustment in the X-direction (rolling direction) of the exposure area.

In this embodiment, since the pre-reading focus detection system GDL (GDR) and the exposure position focus detection system GDC have pairs of detection points (FAna and FAnb; ~~FBna~~^{FBna} and FBnb; FCna and FCnb; FDna and FDnb; FEna and FEnb) spaced apart by a certain distance in the Y-direction, a tilt error amount ΔTy of the pre-read shot area in the pitching direction can be detected from the differences between Z-position errors at the detection points (... na, ... nb) forming pairs in the Y-direction, and adjustment amounts (i.e., target values $\Delta ZA1$, $\Delta ZA2$) necessary for correcting the surface configuration of the shot area including of the tilt error amount ΔTy , can be reproduced at the detection points (FCna and FCnb) of the off-axis detectors GDC1 and GDC2.

The detectors GDB1, GDB2, and GDB3 for detecting the focus positions at the detection positions FB1, FB2, and FB3 shown in Fig. 3 are disposed as systems independent of each other by being fixed to a lower portion of the projection lens PL. However, at least these three detectors GDB1, GDB2, and GDB3 may be arranged to detect the focus positions at the detection points FB1, FB2, and FB3 through a common objective lens system. The same can also be said with respect to

the group of three detectors GDE1, GDE2, and GDE3 for detecting the focus positions at the detection points FE1, FE2, and FE3 shown in Fig. 5.

Further, a common objective lens system may be used for the same purpose with respect to the group of six detectors for detecting the focus positions at the six detection points $FBna$ and $FBnb$ ($n = 1, 2, 3$) shown in Fig. 4A or the other group of six detectors for detecting the focus positions at the six detection points $FEna$ and $FEnb$ ($n = 1, 2, 3$). An arrangement of using a common objective lens system for detectors for detecting the focus positions at a plurality of detection points is therefore described briefly with reference to Fig. 4B.

Fig. 4B is a schematic side view of the positional relationship between the projection lens and the detectors corresponding to the six detection points $FBna$ and $FBnb$ ($n = 1, 2, 3$) and the four detection points $FA1a$, $FA1b$, $FA2a$, and $FA2b$ shown in Fig. 4A as seen in the Y-direction in Fig. 4A. Accordingly, the scanning direction of the wafer W in Fig. 4B is a direction perpendicular to the plane of the figure and the five detection points $FA1a$, $FBna$ ($n = 1, 2, 3$), and $FA2a$ arranged in a row in the X direction at the leftmost position in Fig. 4A are representatively shown in Fig. 4B. Another row of detection points $FA1b$, $FBnb$ ($n = 1, 2, 3$), and $FA2b$ are adjacent to the five detection points $FA1a$, $FBna$ ($n = 1, 2, 3$), and $FA2a$ (in a direction perpendicular to paper of Fig. 4B). In this embodiment, the focus positions at these ten points are detected through the objective lens system.

As shown in Fig. 4B, illumination light ILP from an illumination optical system 80A including a light source (e.g. a light emitting diode, a laser diode, a halogen lamp or the like) capable of emitting light in a wavelength range to which the resist layer on wafer W

is not sensitive is emitted through each of ten small slits formed in a multi-slit plate 81A. The ten small slits are disposed in correspondence with the ten detection points FBna, FBnb ($n = 1, 2, 3$), FA1a, FA1b, FA2a, and FA2b set on the wafer W. Light transmitted through the small slits is incident upon an objective lens 84A of a projection system via a lens system 82A and a reflecting mirror 83A and is deflected by a prism 85A by a desired angle to form a slit image at each detection point.

The illumination optical system 80A, the multi-slit plate 81A, the lens system 82A, the reflecting mirror 83A, the objective lens 84A and the prism 85A constitute a projection system of an oblique incident light type focus detection unit. The solid lines in the optical path from the multi-slit plate 81A to the wafer W shown in Fig. 1A represent principal rays of transmitted light from the small slits, and the broken lines in the optical path represent typical imaging rays ^{81a} of the small slit imaging light imaged at the detection point FB2a (or FB2b).

The reflected light of the small slit imaging light reflected at each detection point on the wafer W is again imaged on a receiving slit plate 81B via a prism 85B, an objective lens 84B, a reflecting mirror 83B and a lens system 82B disposed generally symmetrically with respect to the projection system. Ten small receiving slits disposed in correspondence with the small slits in the projection multi-slit plate 81A are formed in the receiving slit plate 81B. Light transmitted through these receiving slits is received by a light receiving device 80B which is a plurality of photoelectric detection elements.

As the photoelectric detection elements of the light receiving device 80B, ten photoelectric detection elements are provided in correspondence with the

positions of the small slits of the receiving slit plate 81B to separately detect the focus positions at the detection points on the wafer. The light receiving device 80B, the receiving slit plate 81B, the lens system 82B, the reflecting mirror 83B, the objective lens 84B and the prism 85B constitute a light receiving system of the oblique incident light type focus detection unit. The solid lines in the optical path from the wafer W to the receiving slit plate 81B shown in Fig. 6⁸ represent principal rays of the small slit images normally reflected by the wafer W, and the broken lines in the optical path represent typical imaging rays RSf from the detection point FB2a (or FB2b) to the receiving slit plate 81B.

The projection system and the receiving system shown in Fig. 6⁸ are mounted on an integrally-formed metal member so that the positions of the components are accurately maintained relative to each other. The metal member is rigidly fixed on the lens barrel of the projection lens PL. Another focus detection unit constructed in the same manner is disposed on the opposite side of the projection lens PL to separately detect the focus positions at the ten detection points FEna, FEnb (n = 1, 2, 3), FD1a, FD2a, FD1b, and FD2b shown in Fig. 6⁷.

With respect to the pair of detection points FC1a and FC1b and the pair of detection points FC2a and FC2b shown in Fig. 6⁷, oblique incident light type focus detection units each having a projection system and a receiving system arranged in the Y-direction of Fig. 6⁷ (direction perpendicular to paper in Fig. 6⁸) may be provided on the opposite sides of the projection lens PL in the X-direction. Also in the case where the focus position detection points are disposed as shown in Fig. 5, the oblique incident light type focus detection unit shown in Fig. 6⁸ can also be applied in

the same manner.

A scanning aligner to which the present automatic focusing/tilt control system is applied is next described in accordance with a third embodiment of the present invention with reference to Fig. 6a. This embodiment is applicable to a scanning aligner for a large substrate e.g. 300 mm diameter or greater having a 1X projection optical system formed of a tandem combination of a first-stage Dyson type (catadioptric) projection imaging system consisting of a pair of prism mirrors PM1 and PM2, a lens system PL1 and a concave mirror MR1 and a second-stage Dyson type projection imaging system consisting of a pair of prism mirrors PM3 and PM4, a lens system PL2 and a concave mirror MR2. Such an aligner is disclosed in U.S. Patent 5,298,939 (to Swanson et al.), for example.

In the aligner shown in Fig. 6a, a mask M provided as an original plate and a plate P provided as a photosensitive substrate are integrally supported on a carriage 100, and a pattern on the mask M is transferred onto the plate P as a 1X (unit magnification) erect image by moving the carriage 100 to the left or right as viewed in Fig. 6a relative to the projection field of the 1X projection optical system and illumination light IL so as to scan the mask M and plate P.

In the case of the projection optical system for this type of aligner, it is desirable to minimize the spacing between the incidence plane of the prism mirror PM1 and the surface of the mask M and the spacing between the exit plane of the prism mirror PM4 and the upper surface of the plate P for reducing deteriorations in imaging performance (various aberrations and image distortion). In other words, if these spacings can be sufficiently reduced, the design of the lens systems PL1 and PL2 disposed on the optical

axes AX1 and AX2 becomes easier. Therefore, to achieve the desired imaging performance, it is necessary to reduce the spacing between the prism mirror PM1 and the mask M and the spacing between the prism mirrors PM4 and the plate P.

In view of this condition, for focusing and tilt adjustment of the pattern image projected by this projection, prereading focus detection systems GDL and GDR and an exposure position off-axis type focus detection system GDC such as those of the first embodiment (Fig. 3) or the second embodiment (Figs. 17A, 17B) are provided around the prism mirror PM4 as shown in Fig. 18A to precisely coincide the surface of the plate P and the best focus plane BFP at the exposure position immediately below the prism mirror PM4, by slightly moving the plate P in the Z-direction and the tilting direction.

Further, pre-reading focus detection systems GDL' and GDR' and an exposure position off-axis type focus detection system GDC' may be disposed around the prism mirror PM1 on the mask M side so as to face the mask M, as shown in Fig. 18A. These focus detection systems make it possible to detect a focus error and a tilt error of the area of the mask M irradiated with illumination light IL with respect to the prism mirror PM1 and to measure, in real time, a small deviation in the Z-direction (a focus shift of the image plane) and a tilt deviation (inclination of the image plane) of the best focus plane (i.e., a conjugate plane of reticle R) formed at a predetermined working distance from the prism mirror PM4.

Thus, in the aligner shown in Fig. 19A, the image plane on which the pattern of the mask M is projected and imaged in an optimal condition by the projection optical system and the surface of the plate P can be adjusted to coincide with each other highly accurately

during scanning exposure.

The aligner shown in Fig. 1⁹8⁹ may be constructed so that mask M and plate P stand vertically. Fig. 1¹⁰8¹⁰ is a perspective view of an exemplary structure of a scanning aligner having a vertical carriage for vertically holding mask M and plate P and for integrally moving mask M and plate P with respect to a projection optical system for scanning. A scanning aligner having mask M and plate P held vertically in this manner is disclosed in Japanese Laid-Open Patent Application No. (Hei) 8-162401, for example.

Referring to Fig. 1¹⁰8¹⁰, the entirety of the vertical type scanning aligner is constructed on a fixed base 120A which is placed on a floor with vibration isolators interposed between four corner portions of the fixed base 120A and the floor. Side frame portions 121A and 121B are provided on opposite side portions of the fixed base 120A so as to stand vertically (in the X-direction). A mask M is placed inside the side frame portion 121A while a plate P is placed inside the side frame portion 121B. In the side frame portion 121A, therefore, an opening is formed in which an end portion of an illumination unit 122 having optical systems for illuminating mask M with exposure illumination light and for mask-plate alignment is inserted, as illustrated.

A guide base portion 123 is provided on the fixed base 120A so as to extend in the scanning direction (Y-direction) between the side frame portions 121A and 121B. Two straight guide rails 123A and 123B are formed on the guide base portion 123 so as to extend in the Y-direction parallel to each other. A vertical carriage 125 is supported by fluid bearings or magnetic floating bearings on the guide rails 123A and 123B reciprocatingly movably in the Y-direction. The vertical carriage 125 is driven in the Y-direction in a

non-contact manner by two parallel linear motors 124A and 124B having stators fixed on the guide base portion 123.

The vertical carriage 125 has a mask-side carriage portion 125A vertically formed inside the side frame portion 121A to hold mask M and a plate-side carriage portion 125B vertically formed inside the side frame portion 121B to hold plate P. A mask table 126A for slightly moving mask M in the X- or Y- direction in an XY-plane or in a rotational (θ) direction and for slightly moving mask M in the Z-direction while holding mask M is provided on the mask-side carriage portion 125A. On the other hand, a plate stage 126B for slightly moving plate P in the X- or Y-direction in an XY-plane or in a rotational (θ) direction and for slightly moving plate P in the Z-direction while holding plate P is provided on the plate-side carriage portion 125B.

A projection optical system PL such as one disclosed in Japanese Laid-Open Patent Application No. (Hei)8-162401 mentioned above is used in this embodiment. The projection optical system PL is constructed by arranging a plurality of sets (e.g., seven sets) of "1X" erect type double Dyson systems in the direction perpendicular to the X-direction. The plurality of sets of double Dyson systems are integrally combined and housed in a casing which is generally T-shaped as viewed in an XZ-plane. The projection optical system PL thus constructed is mounted by being suspended from upper end portions of the opposite side frame portions 121A and 121B so that predetermined working distances from mask M and plate P are maintained.

In the entire casing of the projecting optical system PL, mask M-side focus detection systems GDC', GDL', and GDR' on the mask M side and plate P-side

focus detection systems GDC, GDL, and GDR ^(on the Plate P side) are provided so as to face mask M and plate P, respectively, as shown in Fig. 132. The detection points defined by the pre-reading focus detection systems GDL, GDL', GDR, and GDR' may be set in correspondence with the projection fields of the plurality of sets of double Dyson systems or may be arranged at predetermined intervals irrespective of the placement of the projection fields.

Fig. 133 is a perspective view of an example of a layout of detectors in mask M-side focus detection systems GDC', GDL', and GDR' provided in the casing of the projection optical system PL shown in Fig. 130. The effective projection fields DF1, DF2, DF3, DF4, DF5, ... of the plurality of sets of double Dyson systems are set as trapezoidal areas elongated in the X-direction perpendicular to the scanning direction. The trapezoidal projection fields DF_n (n = 1, 2, 3 ...) are arranged in such a manner that the trapezoidal projection fields of each adjacent pair of double Dyson systems overlap each other by their oblique sides as seen in the X-direction.

While only the projection fields DF_n on the mask M side are illustrated in Fig. 132, the projection fields on the plate P side are also arranged in the same manner. For example, the projection field DF2 shown in Fig. 133 is defined by a double Dyson system such as that shown in Fig. 134 including two concave mirrors MR2a and MR2b, and the projection field DF4 is defined by a double Dyson system including two concave mirrors MR4a and MR4b.

As shown in Fig. 133, detectors GDA1', GDB1', GDB2', ..., GDA2' (detectors GDA2' not being seen in Fig. 133) for the pre-reading focus detection system GDL' and detectors GDD1', GDE1', GDE2', ..., GDD2' (detectors GDD2' not being seen in Fig. 133) for the pre-reading focus detection system GDR' are disposed on the

opposite sides (on the front and rear sides with respect to the scanning direction) of the plurality of projection fields DF_n. Also, exposure position focus detectors GDC1' and GDC2' (detector GDC2' not being seen in Fig. 60) are disposed at the opposite ends of the entire array of the plurality of projection fields DF_n in the X-direction perpendicular to the scanning direction.

Each of the focus detectors described above is e.g. an air micrometer type electrostatic gap sensor. They may alternatively be oblique incident light type focus detectors. While only the focus detectors for detection on the mask M side are illustrated in Fig. 60, a plurality of detectors are also arranged in the same manner in the focus detection systems GDC, GDL, and GDR for detection of the plate P.

Adjustment portions KD1 and KD2 for adjusting various optical characteristics of the plurality of sets of double Dyson systems are provided on side portions of the casing of the projection optical system PL shown in Fig. 60. Therefore, a mechanism is provided to adjust the Z-direction position, i.e., to set a mechanical (optical) focus offset detected as a best focus plane by each focus detector, if the position of the best focus plane on the mask M side or plate P side is changed in the Z-direction in Fig. 60 by the optical characteristic adjustment.

This mechanism may be e.g. a mechanism which mechanically adjusts the position of a focus detector in the Z direction, or a mechanism which optically adjusts the position recognized as the best focus position by the focus detector in the Z direction, so that the optical path length is changed optically. Alternatively, the mask or plate are automatically adjusted for focusing in the Z direction according to detection signals which represent a focus error, and an

offset is added to its moved position in the Z direction.

A fourth embodiment in accordance with the present invention is next described with reference to Fig. 12. This embodiment is applicable to an apparatus for performing projection exposure while immersing a projection end portion of a projection lens system PL in a liquid as described above. Fig. 12 is a cross-sectional view of a portion of the apparatus from the end of the projection lens system PL and to a wafer holder WH.

A positive lens element LE1 having a flat lower surface Pe and a convex upper surface is fixed on the end of the projection lens system PL inside the lens barrel. The lower surface Pe of this lens element LE1 is finished so as to be flush with the end surface of the extreme end of the lens barrel, so that a flow of a liquid LQ is disturbed only to a minimal extent. To a lens barrel end portion of the projection lens system PL immersed in liquid LQ, detectors of pre-reading focus detection systems GDL and GDR and an exposure position focus detection system ~~GDS~~^{GDC} which are similar to those shown in Fig. 1 are attached so that their extreme end portions are immersed in liquid LQ.

A plurality of attraction surfaces 113 for attracting the reverse surface of wafer W by vacuum suction are formed in a central inner bottom portion of the wafer holder WH. More specifically, the attraction surfaces 113 ^{lower} a plurality of circular-band-like land portions which have a height of about 1 mm and which are formed concentrically with each other with a predetermined pitch in the diametrical direction of the wafer W. Each of the grooves formed in central portions of the circular land portions communicates with a tubing 112 in the wafer holder WH. The piping 112 is connected to a vacuum source for vacuum suction.

In this embodiment, the spacing (substantial working distance) between the lower surface Pe of the lens element LE1 at the end of the projection lens system PL and the upper surface of the wafer W (or auxiliary plate portion HRS) in an optimum focus state, i.e., the thickness of liquid LQ in which a projection optical path is formed, is set to be 5 mm or less. Accordingly, the depth Hq of liquid LQ filling the wafer holder WH may be two to several times larger than this thickness (5mm or less), and the height of a wall portion LB vertically formed at the peripheral end of the wafer holder WH is about 10 to 25 mm. Thus in this embodiment, the thickness of liquid LQ in the imaging optical path corresponding to the working distance of the projection lens system PL is reduced, so that the total volume of liquid LQ filling the wafer holder WH is smaller and hence temperature control of the liquid [LQ] is easier.

In the region of liquid LQ in which the projection optical path is formed, a part of the illumination energy is absorbed when exposure light passes therethrough, so that an irradiation heat fluctuation can easily occur. If the depth Hq of liquid LQ is small, an increase in temperature due to such irradiation heat fluctuation occurs easily and an adverse effect of reducing the stability of temperature control may result. In such a case, a better effect is obtained by setting the depth Hq of liquid LQ to a value several times the substantial working distance, in order to disperse the influence of irradiation heat fluctuation in the large-volume liquid layer.

To provide focus detection systems GDL, GDR, and GDC as an optical type detection system in an immersion projection system such as that shown in Fig. 12, one prevents the projected beam obliquely incident upon the surface of wafer W or auxiliary plate portion HRS and

the beam reflected by this surface from intersecting the interface between liquid LQ and air. An example of a focus/tilt detection system suitable for such an immersion projection type aligner is therefore described with reference to Fig. ¹³40.

Fig. ¹³40 shows the construction of a focus detection system GDL disposed in the vicinity of a projection lens system PL. Other detection systems GDR and GDC are constructed in the same manner as the detection system GDL. In Fig. ¹³40, the same components as those shown in Fig. ¹²19 are indicated by the same reference characters or numerals.

Referring to Fig. ¹³40, a prism mirror 200 formed of a glass block and having a lower portion immersed in liquid LQ is fixed in the vicinity of a peripheral portion of the projection lens system PL. The prism mirror 200 has reflecting surfaces 200a and 200b partially immersed in liquid LQ, and flat surfaces 200c and 200d through which the projected beam or reflected beam travels out of the glass of the prism mirror 200 into liquid LQ or out of liquid LQ into the glass. Also the prism mirror 200 has a flat upper surface.

A multi-slit plate 205 is illuminated through a condenser lens or a cylindrical lens 203 with light LK (having a non-actinic wavelength relative the resist on wafer W) from a light source 202 such as a light emitting diode (LED) or a laser diode (LD) for forming a projected beam for focus/tilt detection. A plurality of transmission slits corresponding to detection points (areas) FAn and FBn of the focus detection system GDL are formed in the slit plate 205. The light from each transmission slit is reflected by a beam splitter 207 and is incident upon an objective lens 209 to be converged as an imaging beam forming a slit image on the upper surface of wafer W.

The imaging beam emergent from the objective lens

209 enters the prism mirror 200 through the upper end surface of the same, is normally reflected by the reflecting surface 200a, and enters liquid LQ through the flat surface 200c to be obliquely incident upon the surface of wafer W to irradiate the same. The beam reflected by wafer W enters the prism mirror 200 through the opposite flat surface 200d, is normally reflected by the reflecting surface 200b and travels out of the prism mirror 200 through the upper end surface. This reflected light beam passes through an objective lens 211 and is reflected by a reflecting mirror 213 disposed at a pupil position of the objective lens 211.

The beam reflected by the mirror 213 travels reversely through the objective lens 211 and again travels via the reflecting surface 200 and the flat surface 200d of the prism mirror 200 to again irradiate wafer W. The light beam again reflected by wafer W travels via the flat surface 200c and the reflecting surface 200a of the prism mirror 200, passes the beam splitter 207 and is incident on a photoelectric detector 215. The photoelectric detector 215 is a plurality of light receiving elements corresponding to the slits of the slit plate 205. The photoelectric detector 215 separately outputs detection signals with respect to the detection points FAn and FBn, respectively.

Thus, the focus/tilt detection system shown in Fig. 13^{13/} is arranged as a double-path system in which the projected beam reflected by wafer W is again reflected by wafer W, and can therefore have higher sensitivity for detection of an error in the wafer W surface position in the Z-direction in comparison with a single-path system.

In this embodiment, a glass block (prism mirror 200) is provided at the extreme end of the focus/tilt

detection system and is positioned so as to be partially immersed in liquid LQ, so that the projected beam and the reflected beam do not pass any interface between liquid LQ and air, thus providing a stable beam path. Moreover, the effective length of the path in liquid LQ through which the projected beam or reflected beam travels is reduced by virtue of the prism mirror 200, thereby avoiding any reduction in accuracy due to temperature variation of liquid LQ at the time of Z-position measurement.

Modified examples of the structure of the wafer holder WH shown in Figs. 1 and 5 are described with reference to Figs. ¹⁴41A and ¹⁵41B. Fig. ¹⁴41A is a cross-sectional view of a wafer holder WH to be mounted in a projection exposure apparatus for performing immersion exposure. In this example, fine Z-drive units 220 such as piezoelectric elements are provided which can slightly move an auxiliary plate HRS surrounding an attraction surface 113 on which wafer W is supported. The fine Z-drive units 220 move the auxiliary plate HRS in the Z-direction by a stroke of about several tens of micro-meters.

If the difference between the height of the surface of wafer W placed on the attraction surface 113 of the wafer holder WH and the height of surface of the auxiliary plate HRS in the Z-direction is larger than an allowable difference, this Z-drive unit 220 is used to correct the height of surface of the auxiliary plate HRS so that the difference is reduced to a value smaller than the allowable value.

As mentioned above with reference to Fig. 5, the surface of the auxiliary plate HRS functions as an alternative detection surface for the focus detection points FA1 (or FA2), FC1 (or FC2), and FD1 (or FD2) located outside wafer W when shot area SA1 at the peripheral portion of wafer W is exposed. However, when

inner shot area SA2 (see Fig. 5) of wafer W is exposed, these focus points are positioned on wafer W. Therefore, the focus detectors GDA1, GDA2, GDC1, GDC2, GDD1, and GDD2 having detection points each of which is not exclusively positioned on one of the surface of the auxiliary plate HRS and the surface of wafer W must accurately measure the Z-position on each of these surfaces. That is, it is necessary for the positions in the Z-direction of the surfaces of the auxiliary plate HRS and wafer W to be within the linear focus measuring range of the each focus detectors GDAn, GDCn and GDDn.

For example, if the linear focus measuring range of the focus detectors is ± 10 micrometers, the Z positional deviations of the surfaces of the auxiliary plate HRS and wafer W are limited within the range of several micrometers. However, the thickness of wafers varies in a tolerance determined by the SEMI standard, and it is difficult to limit the thicknesses of all usable wafers within the range of several micro-meters.

Therefore, when wafer W is attracted to the wafer holder WH shown in Fig. ~~11~~¹⁴ before exposure, the difference between the Z-position of a suitable portion of the wafer W surface (e.g., a central portion of a peripheral shot area) and the Z-position of the surface of the auxiliary plate HRS is measured by using one of the focus detection systems (GDL, GRD, GDC) before exposure. If the difference exceeds the allowable range (e.g., several micro-meters), the height of the auxiliary plate HRS is adjusted so that the difference is within the allowable range by controlling the fine Z-drive units 220 shown in Fig. ~~11~~¹⁴. Since the wafer holder WH shown in Fig. ~~11~~¹⁴ is filled with liquid LQ, the fine Z-drive units 220 are "waterproofed" to prevent the liquid from entering the units.

The construction shown in Fig. ~~11~~¹⁴ is next ~~15~~

described. Fig. ¹⁵~~118~~ is a cross-sectional view of a modified example of the structure including a wafer holder WH and a ZL stage 30, which is suitable for exposure of a wafer in air. The components corresponding to those shown in Fig. ¹⁴~~114~~ are indicated by the same reference characters or numerals. Referring to Fig. ¹⁵~~118~~, the wafer holder WH is constructed as a chuck on which only an attraction surface 113 for supporting wafer W is formed, and which is fixed on a ZL stage 30.

An auxiliary plate HRS is mounted on the ZL stage 30 with fine Z-drive units 220 interposed therebetween. Each function point PV of three Z-actuators 32A, 32C, and 32B (32B not being seen in Fig. ¹⁵~~118~~) for driving the ZL stage 30 in the Z- direction and a tilting direction are set to points at a peripheral portion of the ZL stage 30 substantially at the same height as the wafer mount surface (attraction surface 113) of the wafer holder WH.

Also in the arrangement shown in Fig. ¹⁵~~118~~, the height of the auxiliary plate HRS is adjusted to that of the upper surface of wafer W by using fine Z-drive units 220 in the same manner as shown in Fig. ¹⁴~~114~~.

This structure of the ZL stage 30 and the Z-actuators ^{32A, 32C, and 32B}~~32~~ shown in Fig. ¹⁵~~118~~, in which ~~the height~~ of the height of the function points PV are set to the same level as the wafer surface, may also be applied to the aligner shown in Fig. 1. Also, the wafer holder WH of Fig. ¹⁴~~114~~ may be mounted on the ZL stage 30 of Fig. ¹⁵~~118~~ to form a focusing and tilting stage suitable for immersion projection exposure apparatus or its method.

The present invention has been described with respect to applications to exposure apparatus. However, the above-described embodiments can be modified in various ways without departing from the scope of the present invention. For example, the focus

detection systems GDL, GDR, and GDC may include electrostatic capacity type gap sensors or air micrometer type gap sensors in the case of an aligner for performing projection exposure in air. Also, the present invention is applicable e.g. to any of the step-and-repeat type, step-and-scan type and "1X" scanning type projection aligners using, as exposure light, g-line (463 nm) or i-line (365 nm) from a mercury discharge lamp or pulse light (248 nm) from KrF excimer laser.

According to the present invention, precise focusing and tilt control at the exposure position can be realized while the working distance of the projection optical system mounted in the projection aligner is set to an extremely small value, so that correction of various aberrations and distortion, correction in optical design of the projection optical system become easier and the transparent optical element positioned near the image plane, in particular, can be reduced in size.

Each of the focusing/tilt control systems in accordance with the above-described embodiments of the present invention is applicable to a certain type of projection exposure apparatus. However, the present invention is also applicable to focus/tilt detection systems for beam processing (manufacturing) apparatuses, writing apparatuses, inspection apparatuses and the like and is not limited to semiconductor fabrication. These beam processing apparatuses, writing apparatuses and inspection apparatuses are provided with an optical or electrooptical objective system to which the present invention can be applied as a focus detection system for detecting a focus on a substrate, specimen or workpiece.

¹⁶
Fig. 12A shows the construction of a focus

detection system applied to an objective optical system of an apparatus for processing a workpiece with a laser or electron beam or for writing a pattern on a workpiece, and Fig. ¹⁷~~12~~ shows a planar layout of detection points of the focus detection system shown in Fig. ¹⁶~~12~~.

Referring to Fig. ¹⁶~~12~~, a processing or writing beam LBW is deflected unidimensionally or two-dimensionally by a scanning mirror 300 and travels via a lens system 301, a fixed mirror 302 and a lens system 303 to be incident upon a beam splitter 304. The beam LBW is reflected by the beam splitter 304 to be incident upon a high-resolution objective system 305 having a small working distance. The beam LBW is condensed into a small spot having a predetermined shape (e.g., a variable rectangular shape) on a workpiece WP by the objective system 305.

The workpiece WP is attracted to and fixed on the same holder WH as that shown in Fig. ¹⁴~~11~~ or ¹⁵~~11~~. An auxiliary plate HRS is attached integrally to the holder WH around the workpiece WP. The holder WH is fixed on an unillustrated XYZ-stage to be moved two-dimensionally in a horizontal direction and in a direction perpendicular to paper as viewed in Fig. ¹⁶~~12~~. The holder WH is also moved slightly in the vertical direction (Z-direction) for focusing.

The apparatus shown in Fig. ¹⁶~~12~~ is also provided with an optical fiber 310 for emitting illumination light for observation, alignment or aiming, a beam splitter 311 and a lens system 312 for leading the illumination light to the above-mentioned beam splitter 304, and a light receiving device (e.g. or photomultiplier, image pickup tube, CCD or the like) 314 for photoelectrically detecting reflected light, scattered and diffracted light or the like from the workpiece WP obtained through the objective system 305.

Pre-reading focus detection systems GDL and GDR and a processing position focus detection system GDC¹⁷ are provided around the objective system 305. Fig. 422 shows a field 305A of the objective system 305 and a planar layout of detection points of the focus detection systems disposed around the field 305A. For convenience, the center of the field 305A is set at the origin of an XY coordinate system. A rectangular area in the field 305A indicates the range through which the spot of the beam LBW scans by the deflection of the beam caused by the scanning mirror 300.

Focus detectors GDA1, GDBn, and GDA2 on the left-hand side of the field 305A of the objective system are disposed so that detection points FA1, FB1, FB2, FB3, and FA2 is set in a row parallel to the Y-axis. Also, focus detectors GDD1, GDEn, and GDD2 on the right-hand side of the field 305A are disposed so that detection points FD1, FE1, FE2, FE3, and FD2 is set in a row parallel to the Y-axis.

On the other hand, a focus detector GDC1 provided above the field 305A is set so that three detection points FD1a, FD1b, and FD1c are placed on a line passing the two detection point FA1 and FD1 and parallel to the X-axis while a focus detector GDC2 provided below the field 305A is set so that three detection points FD2a, FD2b, and FD2c are placed on a line passing the two detection point FA2 and FD2 and parallel to the X-axis. In this embodiment, a set of the focus detectors GDA1, GDBn and GDA2 and a set of the focus detectors GDD1, GDEn and GDD2 are selected as the focus pre-reading function while the workpiece WP moves in the X-direction. On the other hand, the focus pre-reading function is achieved by selecting a set of the focus detectors GDA1, GDC1 and GDD1 and a set of the focus detectors GDA2, GDC2 and GDD2 while the workpiece WP moves in the Y-direction. This embodiment

is arranged so that the detection points of the focus detectors GDBn, GDC1, GDC2, and GDEn can be changed for detecting a focus of the processing position. For example, when the workpiece WP is moved in the X direction from the left-hand side to the right-hand side of Fig. ~~4a~~^{4b}, one of three pairs of detection points FD1a and FD2a, detection points FD1b and FD2b, and detection points FD1c and FD2c may be selected for focus detection of the processing position while the detection points FA1, FB1, FB2, FB3, and FA2 are being used for pre-reading.

This arrangement is intended to achieve an effect described below. That is, the position of the spot of the processing or drawing light beam LBW changes in the scanning range 305B. Therefore, when for example, the light spot is positioned at the leftmost end of the scanning range 305B as seen in Fig. ~~4a~~^{4b}, the two detection points FD1a and FD2a are selected for processing position focus detection. When the light spot is positioned at the rightmost end of the scanning range 305B, the two detection points FD1c and FD2c are selected for processing position focus detection.

In this manner, the reproducibility and accuracy of focus control or tilt control are improved. The holder ~~42A~~^{WH} shown in Fig. ~~4a~~^{4b} is slightly moved in the focusing (Z) direction and in a tilting directions on the XY stage. As is a drive system and a control system for this movement, those shown in Fig. 4 can be used without being substantially modified.

As described above, the focus detection system shown in Fig. ~~4a~~^{4b} and ~~4b~~^{4c} is arranged to enable pre-reading detection of the focus in each of the directions of the two-dimensional movement of workpiece WP and to enable the focus detection point for the processing position to be selected according to the position of the beam spot in the field 305. As a

result, even a peripheral portion of workpiece WP is precisely processed (imaged) in an accurately focused state or pattern imaging can be performed thereon in such a state.

An inspection apparatus to which the focus/tilt detection system of the present invention can be applied is described briefly with reference to Fig. 1¹⁸/₁₃ which shows an example of an apparatus for optically inspecting defects in patterns drawn on a mask or reticle for photolithography or defects in circuit patterns of a semiconductor device or liquid crystal display device formed on a substrate.

In recent years, techniques for examining the quality of an inspected pattern formed on a specimen (substrate) and checking the presence or absence of extraneous materials or particles and damage by enlarging the inspected pattern through an objective optical system, by forming an enlarged image of the pattern by a CCD camera or the like and by analyzing an image signal obtained from such an image have been constructively introduced into this kind of inspection apparatus.

In such a case, it is important to improve the accuracy with which an accurately enlarged image of the inspected pattern is obtained. An objective system having high resolution and a large field size and capable of forming an image with minimized aberrations and distortion is therefore required. Such an objective system naturally has a small working distance and is ordinarily designed as a through the lens (TTL) type such that focus detection is made through the objective system. However, a TTL optical focus detection system entails a problem of limiting the detection sensitivity (the amount of change in detection signal with respect to an error in focusing a specimen) because of a restriction due to the numerical

aperture (NA) of the objective system.

If a TTL focus detection system is formed so as to use light having a wavelength different from that of illumination light for inspection, aberration correction must be taken into consideration with respect to the wavelength ranges of inspection illumination light and focus detection illumination light in the optical design of the objective system. In such a case, the lens cannot always be designed optimally with respect to inspection illumination light.

Then, as shown in Fig. ^{1/8}~~43~~, a plurality of sets of focus detection systems GDC, GDL, and GDR are provided around an objective lens 330 for inspection in the same manner as those shown in Figs. ^{1/6}~~42~~ and ^{1/7}~~43~~. A specimen WP to be inspected is e.g. a mask having a pattern Pa formed on its lower surface. The specimen WP is supported at its peripheral end on a frame-like two-dimensionally-movable stage 331 having an opening. The objective lens 330 is mounted in an upward-facing state on a base member 332 for guiding movement of the stage 331. An enlarged image of a local area in pattern Pa is imaged on an imaging plane of an image pickup device 335 through a beam splitter 334 and a lens system ³³⁵~~33~~.

On the opposite side of the specimen WP, a condenser lens 338 of an illumination optical system is disposed coaxial with the axis AX of the objective lens 330. Illumination light from an optical fiber 340 travels through a condenser lens 341, an illumination field stop 342 and a lens system 343 to be incident upon the condenser lens 338, thereby irradiating the area on the specimen WP corresponding to the field of the objective 330 with a uniform illuminance.

In the above-described arrangement, the focus detection systems GDC, GDL and GDR are mounted on the base member 332 together with the objective ³³⁰~~30~~ so as to

upwardly face the pattern Pa. A plurality of focus detectors (a plurality of detection points) are provided in the focus detection systems GDL and GDR provided for pre-reading, while at least one pair of focus detectors is provided in the focus detection system GDC for detection at the inspection position.

Also in the focus detection system shown in Fig. 18, the specimen WP on the stage 331 may be moved vertically along the optical axis AX or tilted on the basis of focus position information detected by the focus detectors by using a control circuit such as that shown in Fig. 4. In the inspection apparatus shown in Fig. 18, however, only an effect of obtaining a high-quality enlarged image of the pattern Pa imaged by the image pickup device 336 may suffice. Therefore, a focus adjuster 352A or 352B for slightly moving the objective lens 330 or the lens system 335 along the optical axis AX may be provided instead of the means for vertically moving the specimen WP.

An inspection apparatus in which a mask pattern Pa provided as a specimen WP is positioned so as to face downward has been described by way of example with reference to Fig. 18. Needless to say, this embodiment can be directly applied to an inspection apparatus in which pattern Pa faces upward, while the objective lens faces downward. In the apparatus shown in Fig. 18, a transmitted image of pattern Pa is inspected by a coaxial transmission illumination system.

However, the illumination system may be changed so that coaxial reflection illumination light is introduced through the beam splitter 334 in the direction of the arrow 350 in Fig. 18. In such a case, the enlarged image received by the image pickup device 336 is formed by imaging reflected light from the pattern Pa.

Further, another method may be used in which a

spatial filter with a transmission portion having a desired shape is removably placed at the position of a Fourier transform plane formed in the optical path of the illumination optical system or in the imaging optical system to enable a bright field image or a dark field image of pattern Pa to be selectively imaged on the image pickup device 336.

This disclosure is illustrative and not limiting; further modifications will be apparent to one of ordinary skill in the art in light of this disclosure, and are intended to fall within the scope of the appended claims.

4 Brief Description of Drawings

Fig. 1 is a diagram showing a scanning projection exposure apparatus (aligner) in a first embodiment of the present invention;

Fig. 2 is a schematic perspective view explaining a scanning exposure sequence;

Fig. 3 is a schematic perspective view of the disposition of a focus detection system provided in the vicinity of an end of the projection lens system shown

in Fig. 1;

Fig. 4 is a circuit block diagram of a circuit arrangement in the AF control unit shown in Fig. 1;

Fig. 5 is a plan view of the positional relationship between a projection field and detection areas of focus sensors on the wafer in the apparatus shown in Fig. 1;

Figs. 6A, 6B, 6C, and 6D are diagrams of the focusing and tilting operation of the apparatus shown in Fig. 1;

Fig. ~~6A~~⁷ is a plan view of a layout of detection areas of a focus/tilt detection system in a second embodiment of the present invention;

Fig. ~~6B~~⁸ is a side view of a layout of a modified example of the focus/tilt detection system shown in Fig. ~~6A~~⁷;

Fig. ~~6C~~⁹ is a schematic diagram in a third embodiment of the present invention in which the invention is applied to a scanning exposure apparatus (scanning aligner);

Fig. ~~6D~~¹⁰ is a perspective view of a vertical carriage applied to the scanning aligner shown in Fig. ~~6A~~⁷;

Fig. ~~6E~~¹¹ is a perspective view of a projection optical system and a focus detection system provided in the projection aligner shown in Fig. ~~6A~~⁷;

Fig. ~~6F~~¹² is a cross-sectional view in a fourth embodiment of the present invention in the construction of which the invention is applied to an immersion projection exposure apparatus;

Fig. ~~6G~~¹³ is a diagram showing an example of an optical path layout of a focus/tilt detection system suitable for the immersion projection exposure apparatus;

Figs. ~~6H~~¹⁴ and ~~6I~~¹⁵ are cross-sectional views of modified examples of the wafer holder;

Fig. ~~12A~~¹⁶ is a diagram showing an example of a manufacturing or imaging or writing apparatus to which the focus detection sensor of the present invention is applied;

Fig. ~~12B~~¹⁷ is a plan view showing an exemplary layout of the focus detection system applied to the apparatus shown in Fig. ~~12A~~¹⁶; and

Fig. ~~13~~¹⁸ is a diagram schematically showing the construction of an exemplary inspection apparatus to which the focus/tilt detection system of the present invention is applied.

Fig. 1

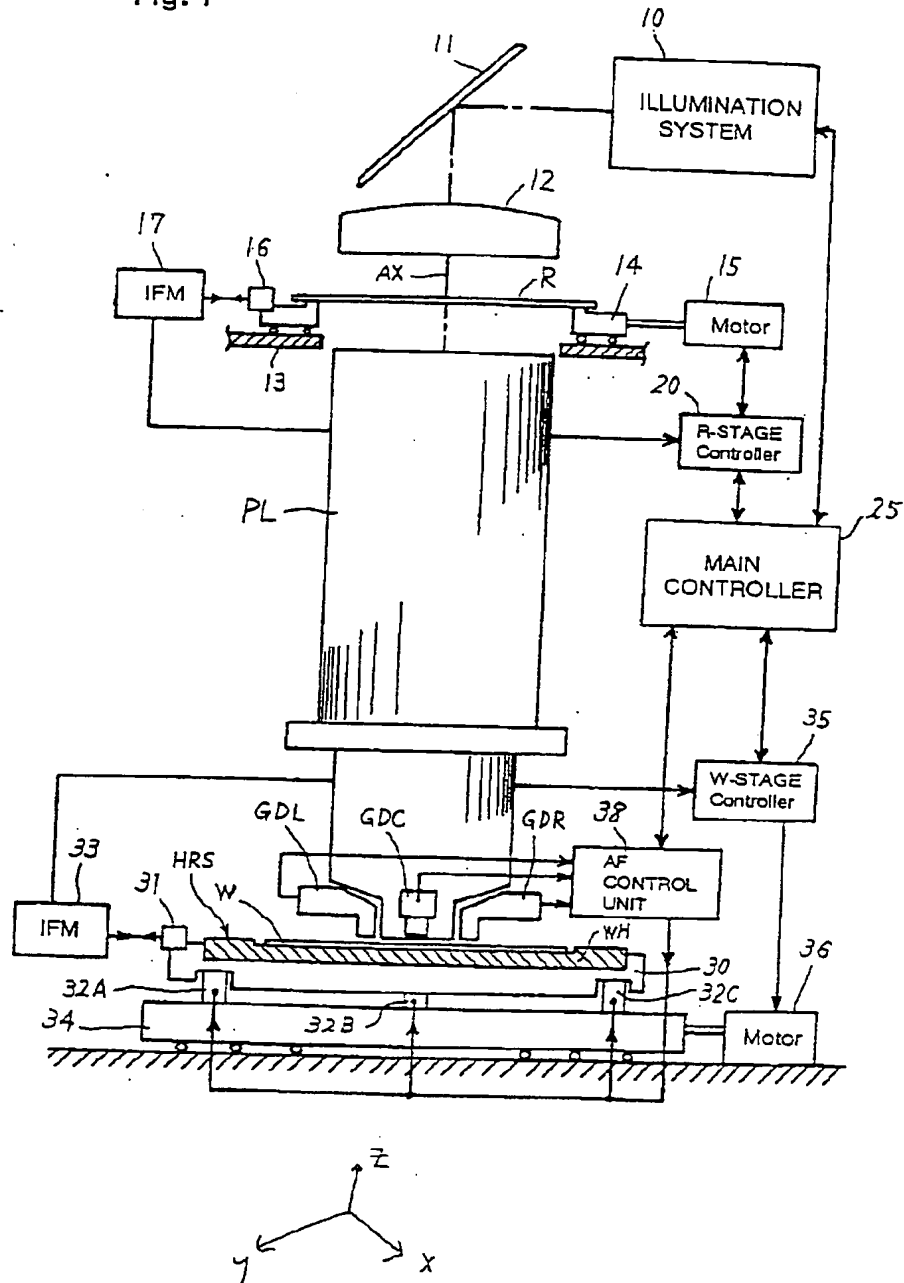


Fig. 2

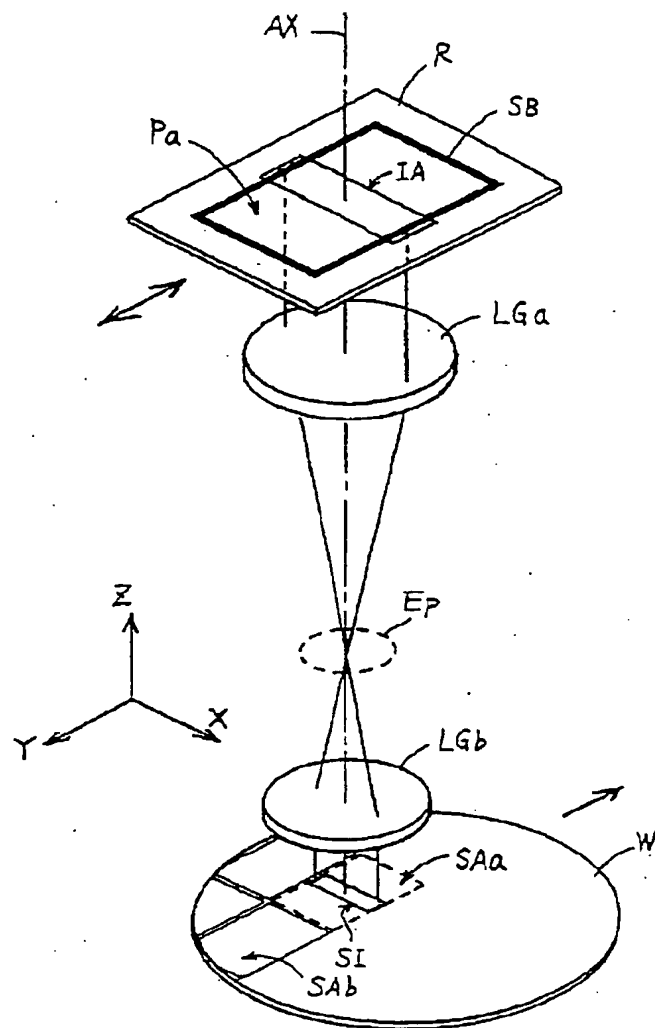


Fig. 3

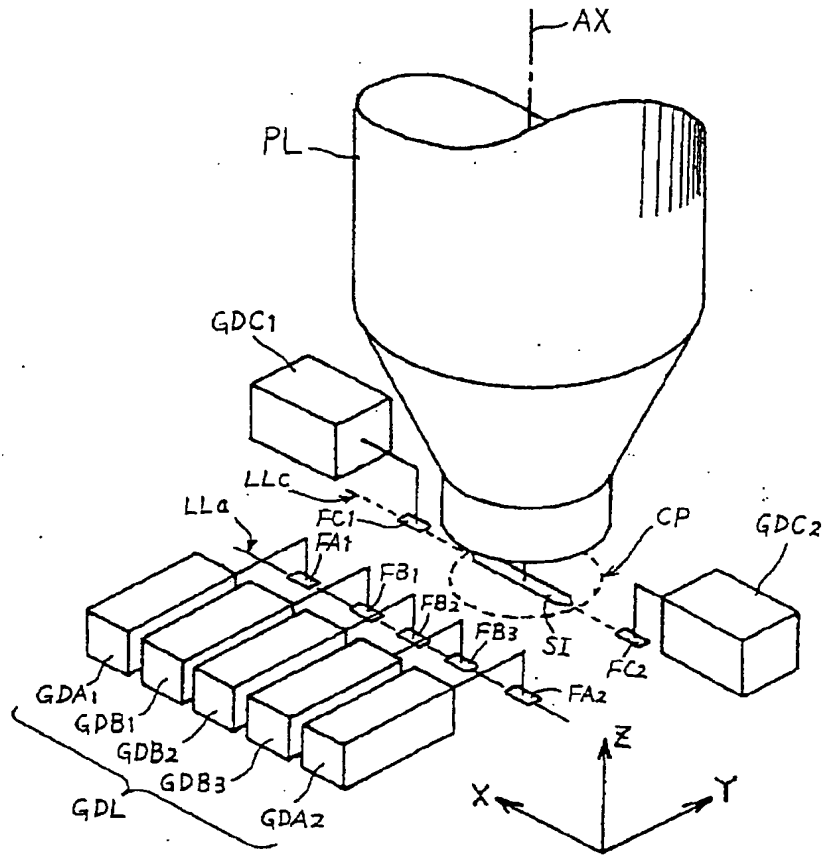


Fig. 4

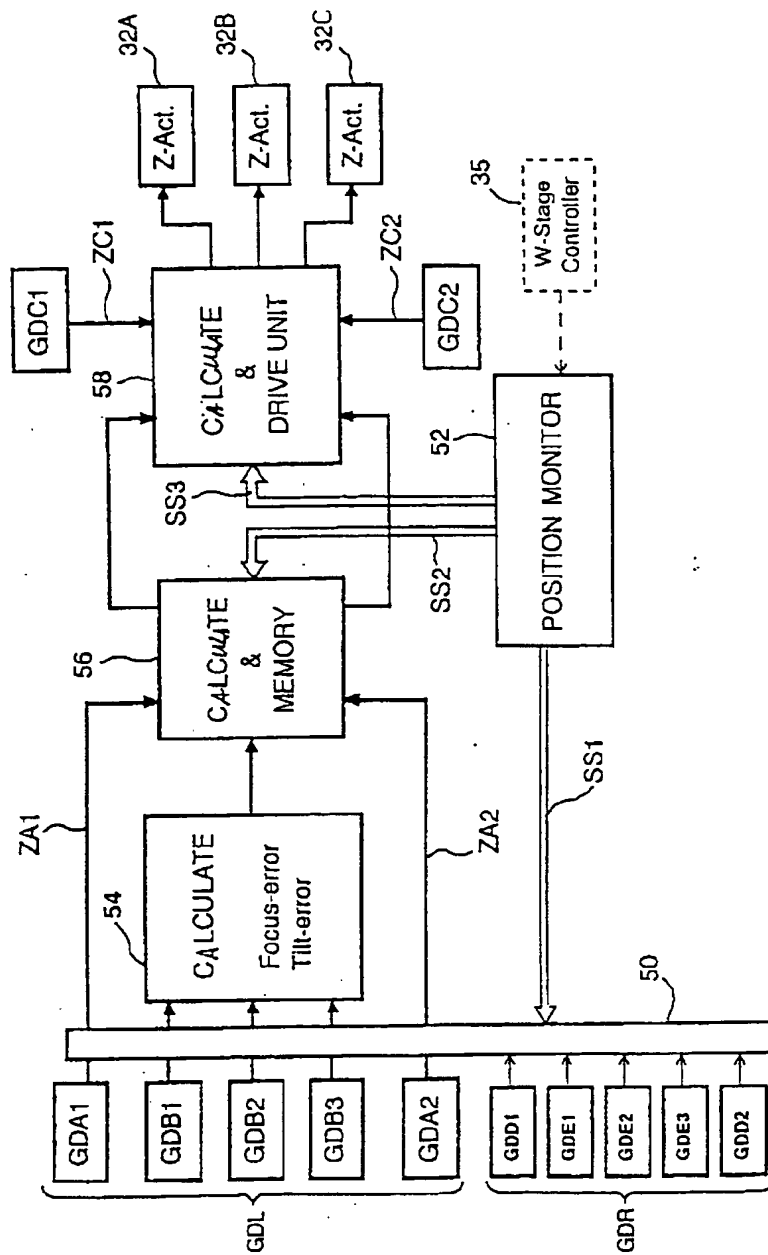


Fig. 5

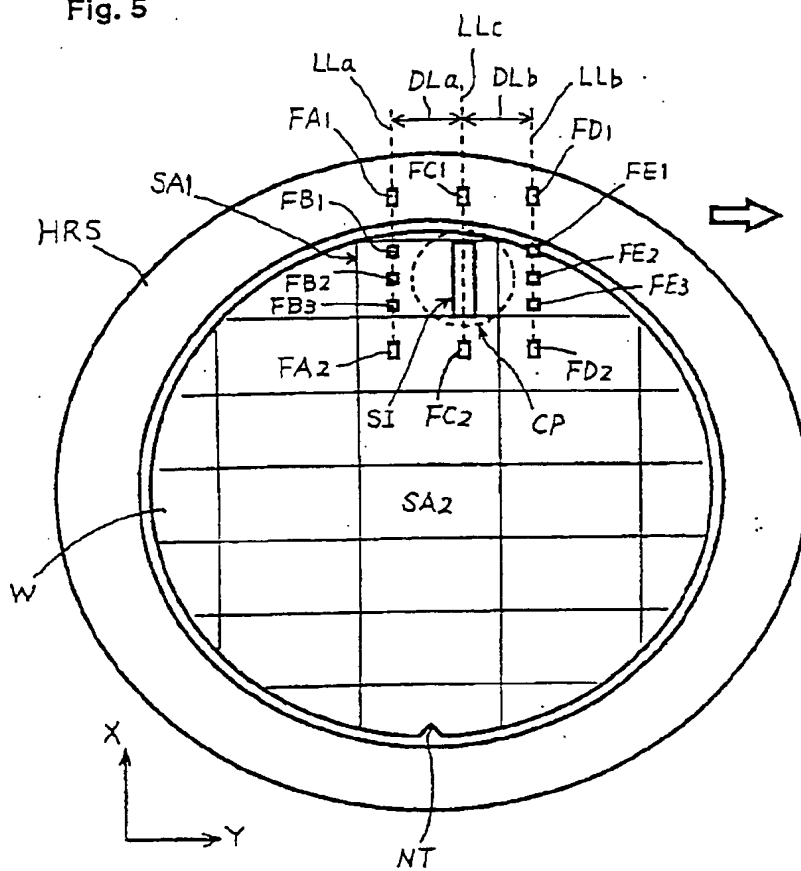


Fig. 6

Fig. 6A

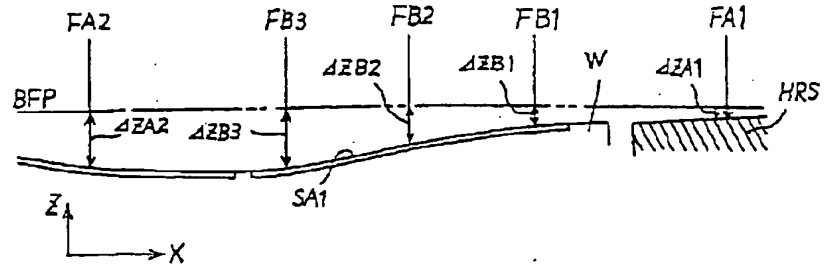


Fig. 6B

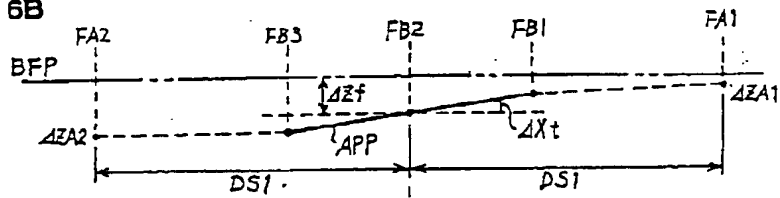


Fig. 6C

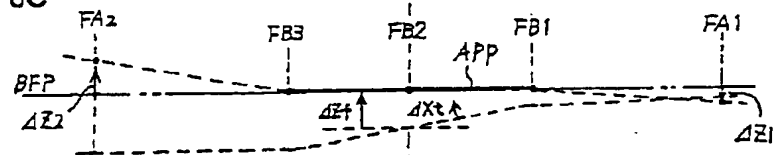


Fig. 6D

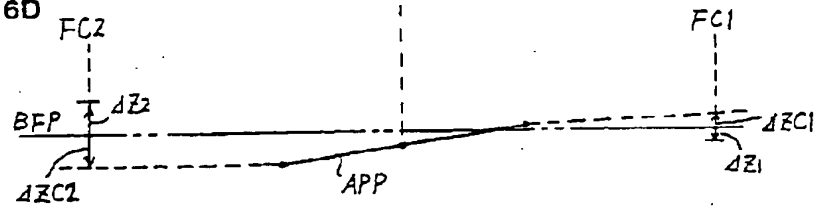


Fig. 7

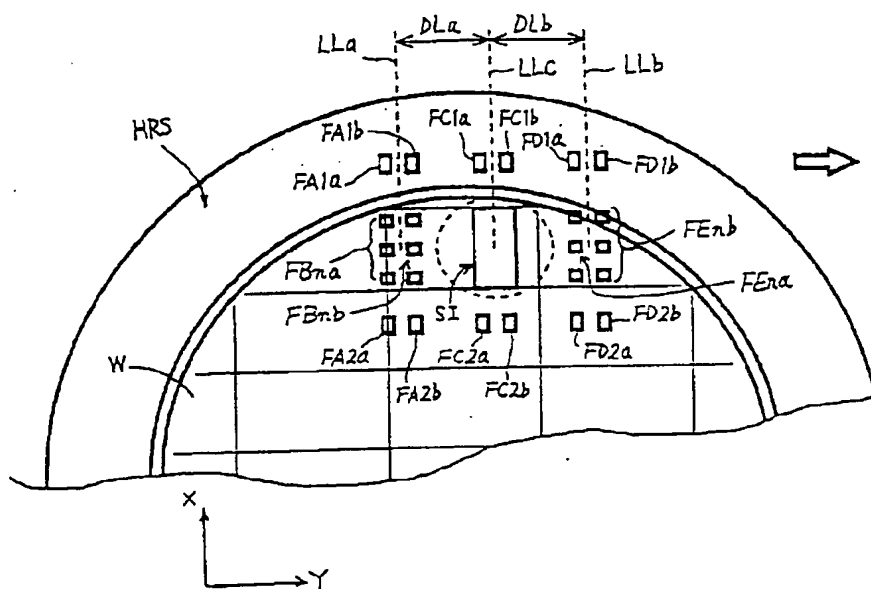


Fig. 9

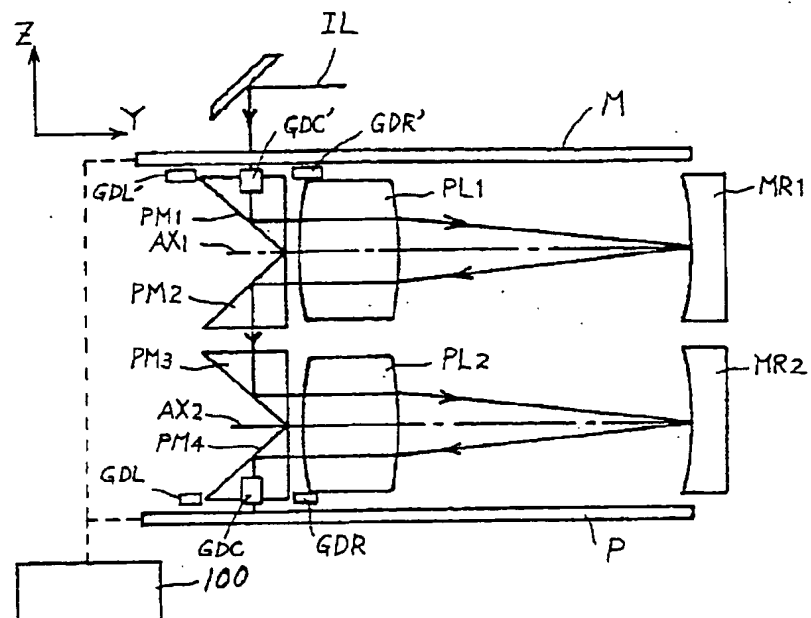


Fig. 10

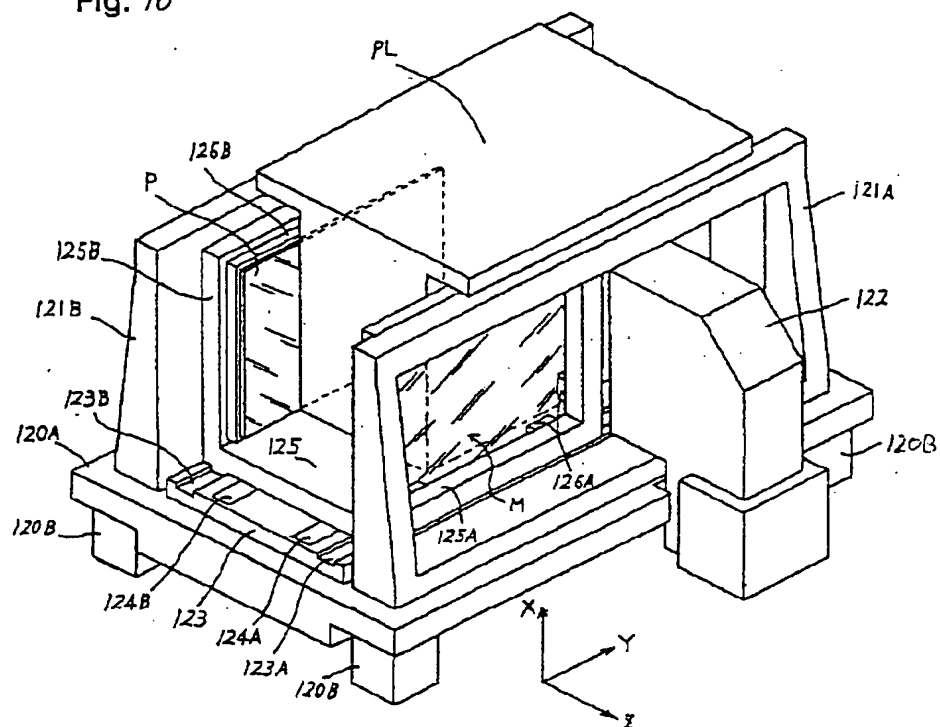


Fig. 11

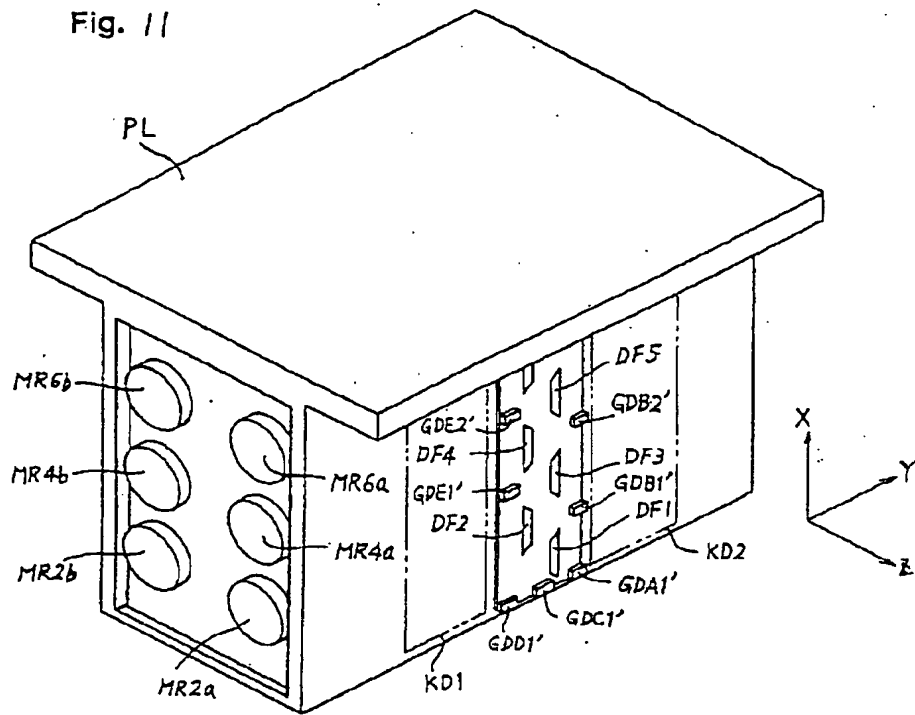


Fig. 12

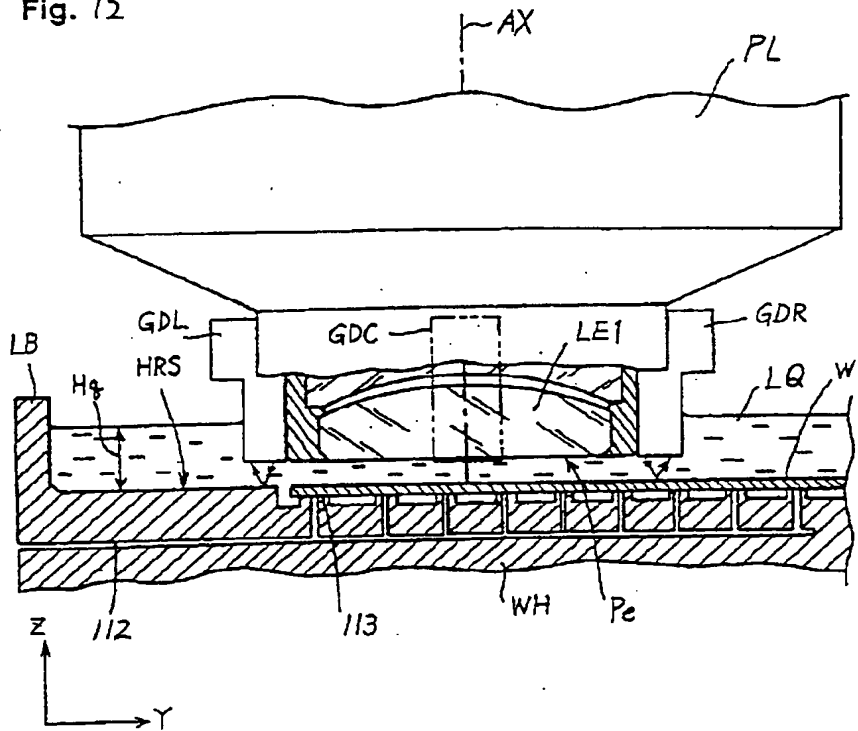


Fig. 13

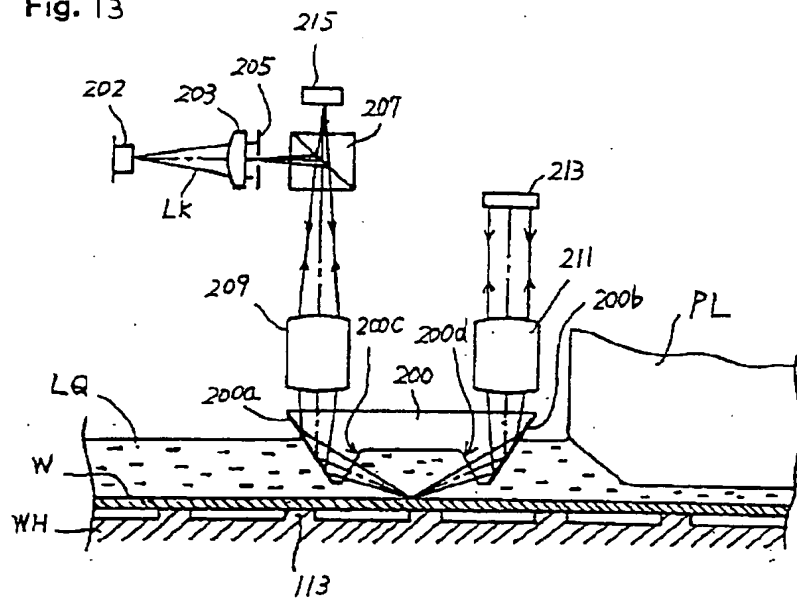


Fig. 14

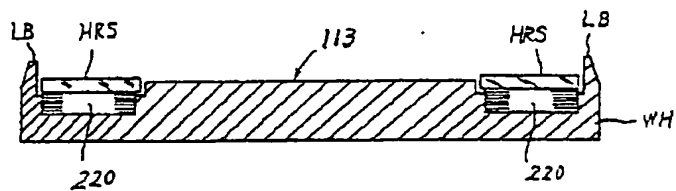


Fig. 15

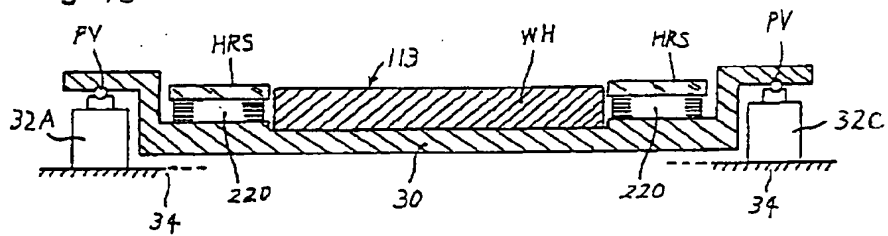


Fig. 16

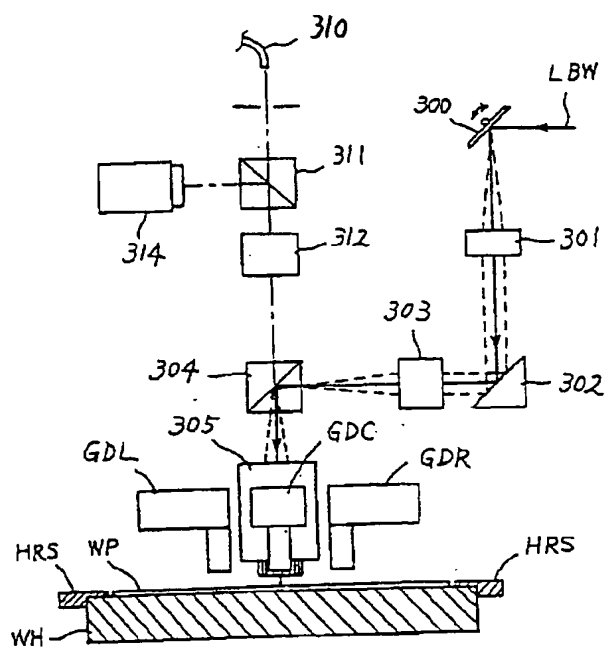


Fig. 17

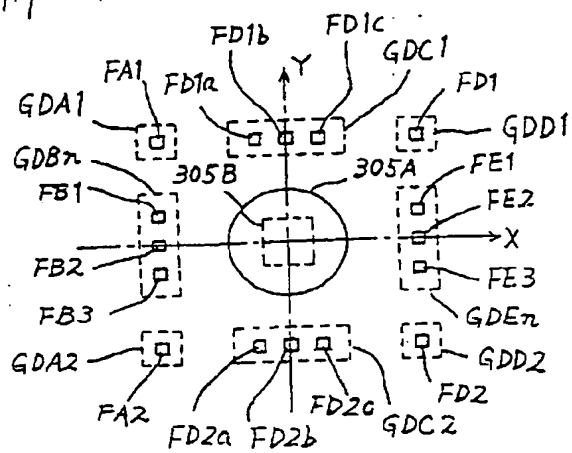
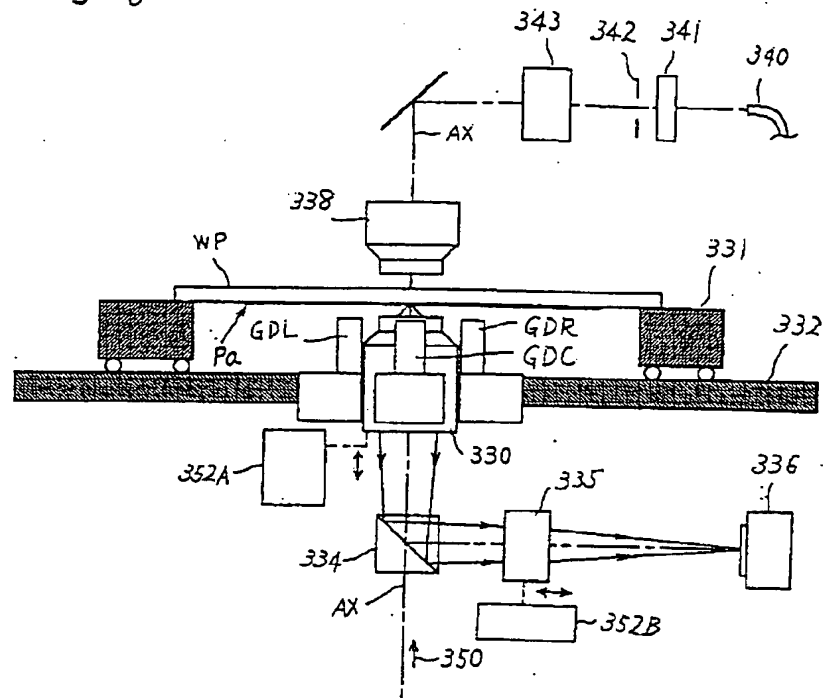


Fig. 18



1. Abstract

³ The present invention provides a projection aligner (exposure apparatus) and an exposure method which enable high-precision focusing control and high-precision tilt control even if a projection optical system to reduce the working distance in comparison with the conventional projection optical system is incorporated.

Improvements in a focusing apparatus having an objective optical system for optically manufacturing a workpiece, forming a desired pattern on a surface of a workpiece or inspecting a pattern on a workpiece and used to adjust the state of focusing between the surface of the workpiece and the objective optical system. The focusing apparatus has a first detection system having a detection area at a first position located outside the field of the objective optical system, a second detection system having a detection area at a second position located outside the field of the objective optical system and spaced apart from the first position, and a third detection system having a detection area at a third position located outside the field of the objective optical system and spaced apart from each of the first and second positions. A calculator calculates a deviation between a first focus position and a target focus position and temporarily stores a second focus position at the time of detection made by the first detection system. A controller controls focusing on the surface of the workpiece on the basis of the calculated deviation, the stored second focus position and a third focus position when the area on the workpiece corresponding to the detection area of the first detection system is positioned in the field of the objective optical system by relative movement of the workpiece and the objective optical system.

2. Representative Drawing

Fig. 1